

DJENADOU Rayane

2023 - 2024

BUT 3 - Génie Électrique et Informatique
Industrielle - Spécialité ESE

RAPPORT DE STAGE

Analyse et Amélioration des Fonctions Électroniques Lumineuses



Enseignant référent : **David CORDEAU**

Etablissement : **Institut Universitaire de
Technologie d'Angoulême, Université de Poitiers**

Entreprise d'accueil : **Luxor Lighting**

Adresse : **26 Imp. des Bosquets, 16000
Angoulême**

Tuteur de stage : **Jean-Dominique DUMORTIER
/ Stéphane MORILLON**

Je tiens tout d'abord à remercier M. Dumortier, mon maître de stage, chef du bureau d'étude, de m'avoir accepté comme stagiaire au sein de l'entreprise et de m'avoir accompagné tout au long de mon stage. Je remercie également toute l'équipe de Luxor Lighting pour m'avoir bien accueilli dans l'entreprise.

Sommaire

Introduction générale	4
Présentation de Luxor Lighting	5-7
Introduction du stage	8
 1. Analyse et proposition d'amélioration du module Renault	9-11
1.1. Introduction technique	9
1.2. Développement technique	9-11
1.3. Conclusion	11
 2. Analyse et proposition d'amélioration du module SCANIA	12-20
2.1. Introduction technique	12
2.2. Développement technique	12-20
2.3. Conclusion	20
 3. Projet Prototype MERCEDES-BENZ BR465	21-31
3.1. Introduction technique	21
3.2. Développement technique	21-31
3.3. Conclusion	31
 4. Compétences liées au stage	32
4.1. Concevoir	32
4.2. Vérifier	32
4.3. Implanter	32
4.4. Maintenir	32
5. Conclusion générale	33

Introduction générale

De manière générale, le stage permet à l'étudiant de se familiariser avec le milieu de l'entreprise en apportant avec soi toutes les connaissances théoriques acquises durant la formation afin de les mettre en pratique dans le monde professionnel.

Un stage permet à l'étudiant d'acquérir de l'expérience, d'avoir la possibilité de comprendre le fonctionnement d'une entreprise mais aussi d'apprendre de nouvelles compétences et de renforcer ses connaissances dans le domaine d'étude.

Un stage permet également d'être dans le rôle d'un salarié, c'est à dire résoudre des problèmes spécifiques, d'adapter son travail en fonction des contraintes de temps et des ressources mis à disposition, de prendre des décisions judicieuses, porter un regard critique sur son propre travail pour l'améliorer, d'être autonome, d'organiser son travail et ainsi le faire de manière professionnelle.

Lors d'un stage, l'étudiant est encadré par des professionnels du domaine ce qui lui permet de développer ses compétences et d'acquérir de nouvelles connaissances.

Un stage est également une occasion pour l'étudiant de décrocher par la suite un emploi au sein de l'entreprise.

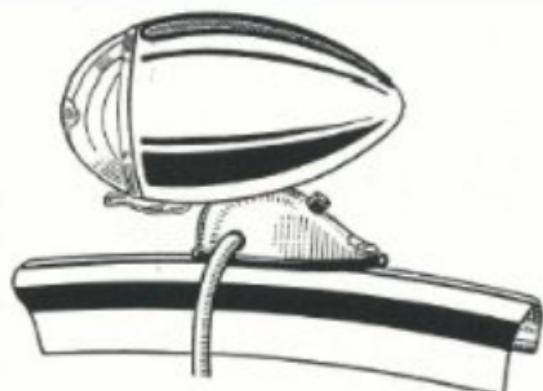
En conclusion, un stage offre à l'étudiant l'opportunité d'explorer différents aspects de son domaine d'étude, d'enrichir ses connaissances et de trouver sa voie professionnel.

Présentation de Luxor Lighting

Fondée en 1919 à Paris, puis s'étant installée plus tard à Angoulême, Luxor Lighting a émergé en tant que pionnier dans l'industrie de l'éclairage pour le secteur de l'automobile, sous le nom de LUXOR, marquant le début d'une longue histoire d'innovation.



À ses débuts, l'entreprise se concentrat sur les solutions d'éclairage traditionnelles, rapidement reconnues pour leur qualité et leur fiabilité.



Le tournant décisif est survenu avec l'essor de la technologie LED. Luxor Lighting a été parmi les premiers à investir massivement dans cette innovation, révolutionnant ainsi ses gammes de produits pour répondre à une demande croissante d'efficacité énergétique et de durabilité.

L'expansion internationale de Luxor Lighting a débuté dans les années 1980, marquée par l'établissement de partenariats et de réseaux de distribution dans des marchés clés à travers le monde. Cette période d'expansion a consolidé la réputation de l'entreprise en tant que fournisseur de solutions d'éclairage, reconnu pour son engagement envers la qualité et l'innovation.



Aujourd'hui, Luxor Lighting continue d'évoluer, investissant dans la recherche et le développement pour rester à la pointe de la technologie avec des solutions toujours plus performantes et respectueuses de l'environnement.

L'entreprise possède deux pôles : le pôle développement, où la conception des projets est réalisée avec le logiciel CATIA et la simulation avec le logiciel SPEOS pour simuler la lumière, et le pôle production, où les produits sont fabriqués par injection plastique et assemblés.



Comme mentionné précédemment, Luxor Lighting est une entreprise spécialisée dans le domaine de l'éclairage, principalement dans le secteur de l'automobile. Voici quelques produits développés et conçus par Luxor Lighting.

L'éclairage de trappe de charge des véhicules électrique et hybride.



Le feu de brouillard à l'arrière du véhicule.



L'éclaireur qui peut se positionner à plusieurs endroits du véhicule, tels que le coffre ou la boîte à gants.



Le catadioptre, permettant de réfléchir la lumière dans la direction d'où elle provient.



Un clignotant de rétroviseur.



Le guide de lumière qui permet d'éclairer une zone spécifique, sans éblouir le conducteur. Il peut être conçu en différentes formes, et de différentes couleurs pour s'adapter à différents endroits du véhicule (portière, levier de vitesse, tableau de bord...)



Introduction du stage

Ces dernières années, l'utilisation des LEDs a considérablement augmenté dans divers domaines, grâce à leurs nombreux avantages. Ces composants se distinguent par leur taille compacte, leur coût abordable et leur excellent rapport entre performance lumineuse et consommation énergétique. L'industrie automobile est l'un des secteurs en plein essor adoptant massivement cette technologie. Le marché des LEDs est vaste, chaque composant ayant des caractéristiques spécifiques et des domaines d'application variés. Dans le secteur automobile, les LEDs sont de plus en plus utilisées pour les phares, les guides de lumière, les clignotants et autres dispositifs d'éclairage. De plus, les composants électroniques doivent répondre à la qualification AEC-Q, garantissant leur fiabilité et leur robustesse pour assurer la sécurité des conducteurs.

Bien que le domaine de l'éclairage LED puisse sembler simple à première vue, il peut vite devenir complexe lorsqu'on considère les spécificités techniques et les exigences des clients. Parmi les caractéristiques techniques importantes des LED, on trouve :

- L'efficacité lumineuse : Mesure de la quantité de lumière émise par rapport à l'énergie consommée. Une efficacité élevée signifie une meilleure performance énergétique.
- La température de couleur : Indique la couleur apparente de la lumière, allant du blanc chaud au blanc froid, adaptée à différentes applications.
- Le binning : Processus de tri des LED en fonction de leurs caractéristiques de performance (couleur, luminosité, etc.).
- Les coordonnées de chromaticité (C_x , C_y) : Définissent la couleur précise de la lumière émise, permettant de spécifier et de reproduire les couleurs avec précision.
- Le flux lumineux : Quantité totale de lumière émise par la LED.
- La puissance consommée : Quantité d'énergie électrique utilisée par la LED.
- La gestion thermique : Capacité de la LED à dissiper la chaleur, essentielle pour maintenir les performances et prolonger la durée de vie.

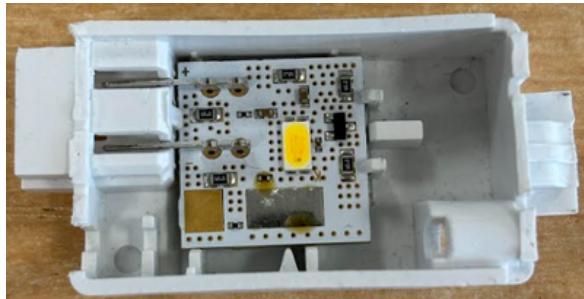
Les clients deviennent de plus en plus exigeants sur les performances lumineuses. Ils recherchent des produits à la fois performants, économiques, avec des couleurs précises et une gestion thermique optimale.

Durant mon stage, j'ai été chargé d'analyser la partie électronique des produits de chez Luxor Lighting pour proposer des améliorations sous tous les aspects possibles, bien que toute la partie électronique soit sous-traitée par d'autres entreprises. Mon objectif principal était de rendre les produits plus performants et moins coûteux, tout en respectant les exigences des clients. En fin de stage, j'ai été chargé de concevoir un prototype d'éclairage pour un véhicule.

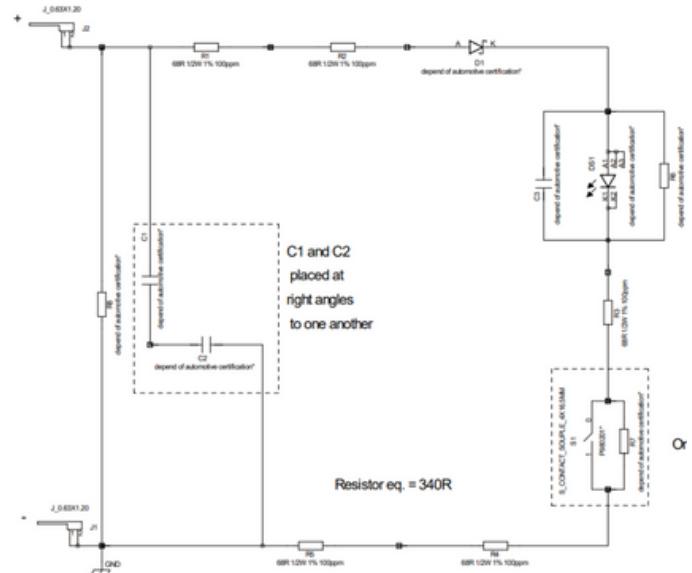
1. Analyse et proposition d'amélioration du module Renault

1.1. Introduction technique

Ma première mission durant mon stage a été de proposer une amélioration d'un module LED de Renault. Ce module est situé dans le coffre du véhicule et permet l'éclairage du coffre lorsque celui-ci s'ouvre. Voici ci-dessous une image de ce module à gauche ainsi que son schéma électrique à droite.



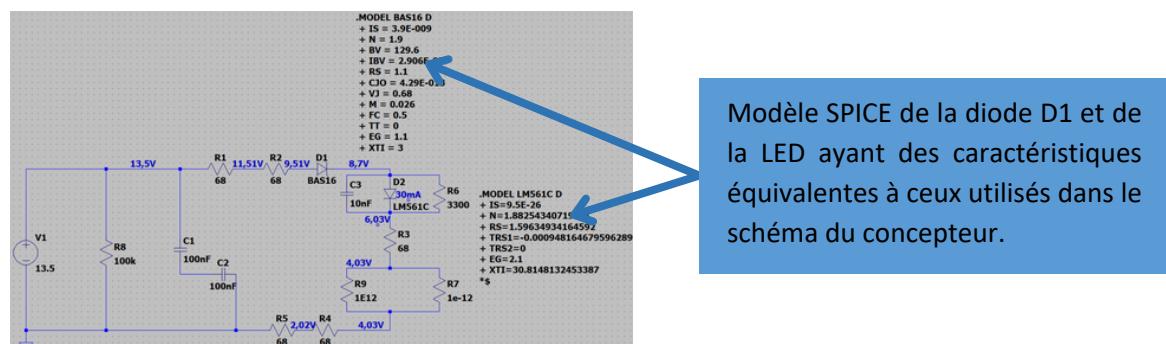
Le client souhaite augmenter l'intensité lumineuse du module. Mon tuteur m'a expliqué que le principal défaut de ce module réside dans son échauffement. L'objectif est donc d'améliorer ce module en termes de performance en réduisant sa température.



1.2. Développement technique

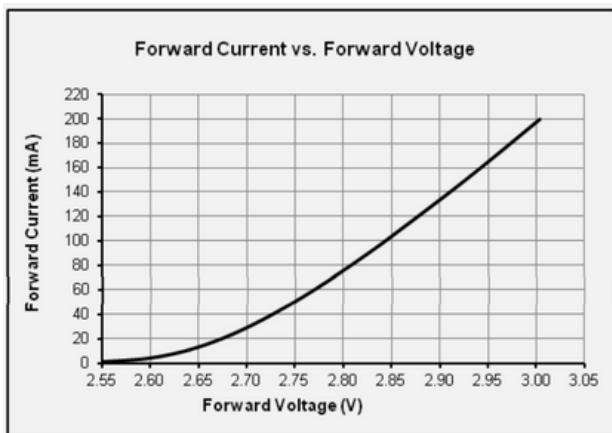
Le PCB est alimenté par une tension continue de 13,5V, représentant la tension nominale de fonctionnement du véhicule. Les connecteurs J1 et J2, respectivement le VCC et le GND, permettent l'alimentation du PCB. Les résistances R1 à R6 sont utilisées pour limiter le courant dans le circuit. La résistance R7 de $0\ \Omega$ est utilisée comme un pont pour faire un court-circuit. La résistance R8, en parallèle avec les condensateurs C1 et C2, permet de créer un filtre passe-bas, filtrant ainsi les bruits parasites et stabilisant la tension d'alimentation. Le condensateur C3 a pour rôle de filtrage et de stabilisation pour protéger la LED. La diode D1 protège contre les inversions de polarité. L'interrupteur S1 détecte l'ouverture du coffre. Lorsque le coffre est ouvert, l'interrupteur s'active et permet le passage du courant à travers la LED pour l'allumer.

J'ai fait la simulation du schéma électrique sur le logiciel LTSpice pour en faire une analyse. Le logiciel LTSpice ne dispose pas de toutes les bibliothèques de composants. Par conséquent, j'ai dû adapter mon schéma en utilisant des composants ayant des caractéristiques très proches de ceux utilisés dans le schéma. Pour ce faire, j'ai dû importer les modèles SPICE de la LED et de la diode D1 ayant des caractéristiques proches de ceux utilisés par le concepteur, car il n'existe pas de modèles SPICE pour ces références de composants.

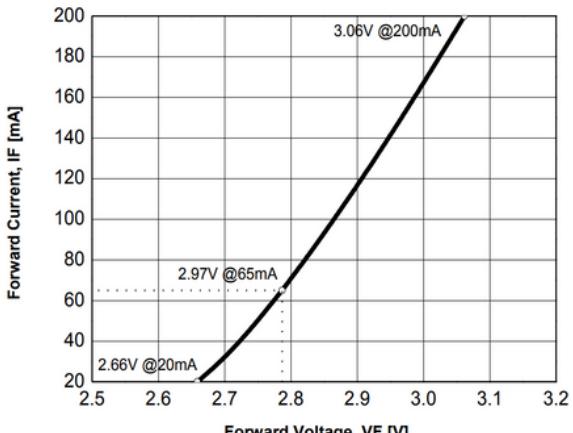


Modèle SPICE de la diode D1 et de la LED ayant des caractéristiques équivalentes à ceux utilisés dans le schéma du concepteur.

Courbe caractéristique de la LED LM561C (LED LTSpice)



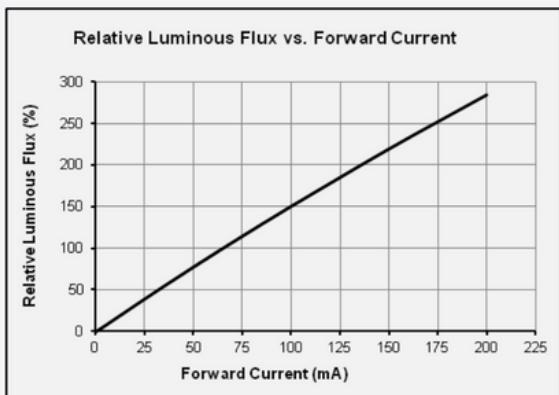
Courbe caractéristique de la LED STW8Q14YE (LED Concepteur)



Dans le logiciel LTSpice, la LED affiche une tension de 2,67V lorsqu'un courant de 30mA la traverse. Ce résultat est cohérent avec la datasheet de la LED LM561, où la courbe caractéristique indique qu'une tension de 2,67V correspond à un courant d'environ 30mA. De manière similaire, la courbe caractéristique de la LED STW8Q14YE, utilisée par le concepteur, confirme cette correspondance.

On peut maintenant se demander quel est le flux lumineux que peut générer cette LED pour un courant d'environ 30 mA. On peut s'aider du graphique ci-dessous pour trouver le pourcentage du flux lumineux de la LED en fonction du courant direct qui la traverse.

Courbe caractéristique de la LED LM561C montrant le flux lumineux en fonction du courant.

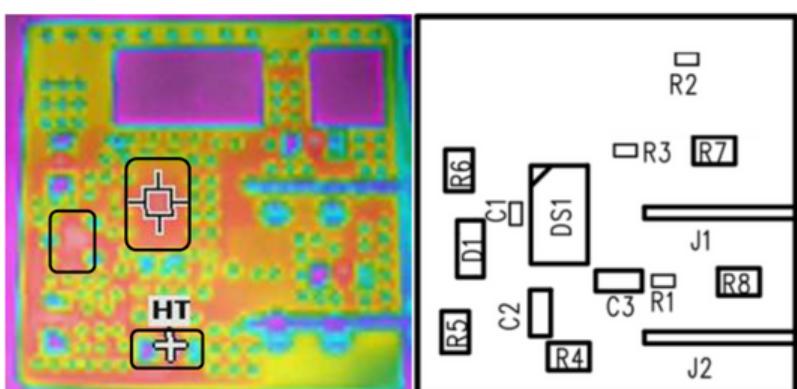


On remarque que pour un courant de 30mA, le flux lumineux correspond à 50% de la valeur typique du flux lumineux de la LED. Cela signifie que la LED atteindra 100% de son flux lumineux lorsque le courant traversant la LED est de 65mA. Sachant que pour un courant de 65mA, on a un flux lumineux de 30 lm.

Par conséquent, on peut calculer le flux lumineux correspondant à un courant de 30mA à l'aide de la formule suivante : Lum_50% = (ValeurCourant_50% / ValeurCourant_100%) * Lum_Nominale_100%.

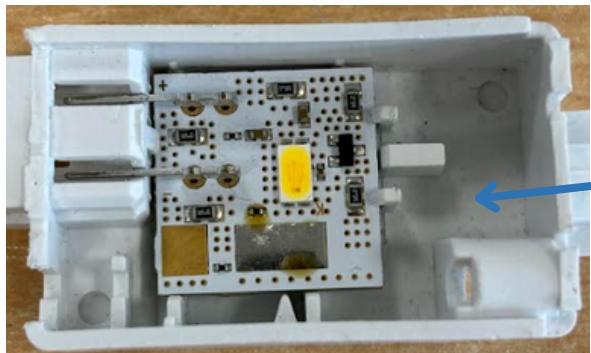
$$\text{Lum_50\%} = (30/65)*30 = 14 \text{ lm}$$

Test thermique réalisé sur la carte du concepteur :



Des tests thermiques ont été réalisés sur cette carte électronique avec une tension d'alimentation de 13,5V. Les résultats d'une caméra thermique sont présentés à gauche, tandis qu'à droite, un schéma représentant les composants associés à l'image thermique permet de visualiser ceux qui chauffent le plus.

On remarque que les composants les plus chauds sont : la LED DS1, la diode D1 et la résistance R4. À partir de ces éléments, il faut trouver des solutions permettant de réduire l'échauffement de ces composants. La première solution envisageable concerne directement le PCB.



En effet, j'ai remarqué que le PCB était très petit et ne prenait pas toute la place du boîtier. Il ne représente que 60 % de la surface du boîtier, laissant 40 % de vide. Si l'on agrandit le PCB, la chaleur se dissiperait mieux car les composants seront éloignés les uns des autres. De plus, il sera possible d'ajouter davantage de vias sur le PCB pour améliorer la dissipation thermique.

Une deuxième solution envisageable serait de changer la référence de la LED afin de trouver une LED plus efficace, ce qui permettrait de diminuer le courant et ainsi de réduire la température.

Une autre proposition d'amélioration est plus axée sur l'aspect économique. J'ai remarqué sur le schéma du concepteur que les résistances R1 et R2, ainsi que R4 et R5, sont chacune en série et ont une valeur identique de $68\ \Omega$. Dans ce cas, on peut remplacer ces résistances par une seule résistance équivalente à $136\ \Omega$. Après vérification sur le marché, il existe des résistances d'une valeur de $137\ \Omega$. La référence de cette résistance est ERJ-UP6F1370V, elle est certifiée AEC-Q200 et a une tolérance de 1 %. Il est important de rappeler que dans le milieu de l'automobile, en électronique, les composants utilisés doivent avoir une qualification AEC-Q200, qui confirme la haute fiabilité des composants.

Résistance $137\ \Omega$ (ERJ-UP6F1370V)

Prix (EUR)

Qté.	Prix unitaire	Ext. Prix
<i>Bobine complète(s) (commandez en multiples de 5000)</i>		
5 000	0,024 €	120,00 €
10 000	0,022 €	220,00 €

Résistance $68\ \Omega$ (ERJ-P06F68R0V)

Minimum : 1	Multiples : 1
Entrez la quantité:	<input type="text" value="10000"/>
Acheter	
Prix unitaire:	0,022 €
Ext. Prix:	220,00 €
Conditionnement:	Bobine complète(s) (commandez en multiples de 5000)
?	

On ne remarque pas de différence de prix pour une quantité de 10 000 résistances, mais on utilisera deux fois moins de résistances de $137\ \Omega$. Cela réduit considérablement le prix d'achat des résistances en le divisant par 2. En revanche, le principal défaut de ce changement de résistance réside dans la température du composant. Théoriquement, une résistance dissipe la chaleur en un seul point, mais si l'on prend deux résistances en série équivalentes à cette résistance, alors ces deux résistances dissipent chacune la moitié de la chaleur de la résistance équivalente, et si l'on éloigne ces deux résistances l'une de l'autre, la chaleur est mieux dissipée car elle n'est pas concentrée en un seul endroit.

1.3. Conclusion

En conclusion, il existe plusieurs façons d'améliorer ce module. La première est d'augmenter la taille du PCB afin de mieux dissiper la chaleur. La deuxième solution consiste à changer la référence de la LED et à choisir une LED plus efficace en termes de performance/consommation. La dernière amélioration à apporter peut être à la fois un avantage et un inconvénient : en effet, choisir une résistance équivalente permettrait de réduire le nombre de composants sur le PCB, ainsi que de réduire le coût de production du PCB. Étant donné que l'entreprise Luxor Lighting consacre environ 60 % de son budget aux achats de la partie électronique, soit environ 5 à 6 millions d'euros, une diminution du coût de production de chaque carte électronique pourrait entraîner une baisse notable du prix d'achat de ces cartes. En revanche, cela n'aide pas à mieux dissiper la chaleur. La solution la plus efficace est l'augmentation de la taille du PCB.

2. Analyse et proposition d'amélioration du module SCANIA

2.1. Introduction technique

Par la suite, j'ai travaillé sur l'amélioration du feu de gabarit SCANIA. Pour mieux comprendre, ce feu de gabarit mesure 2 mètres de longueur et permet d'éclairer l'avant d'un véhicule poids lourd. Pour des raisons de conception, le gabarit a été divisé en deux parties mesurant chacune 1 mètre de long. Ces deux parties peuvent être connectées pour former un seul gabarit. Ce feu de gabarit est composé de deux parties distinctes : une partie gauche et une partie droite. Chaque partie est composée de 3 PCB pouvant se connecter à l'aide de jumpers. Chaque partie possède sa propre alimentation fournie par le véhicule et donc chaque partie est équipée d'un driver LED.

Ci-dessous un aperçu de l'ensemble des PCB SCANIA :



Cette image représente la moitié du feu de gabarit SCANIA, mesurant 1 mètre de long.



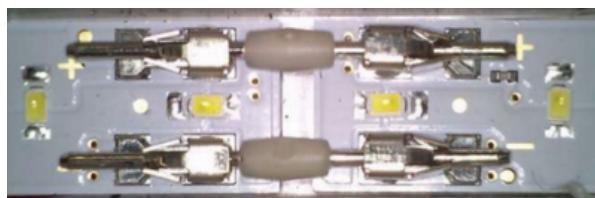
Voici un aperçu des 3 PCB qui composent la moitié d'un feu de gabarit SCANIA. Le feu de gabarit complet est la symétrie de ces 3 PCB, donc un feu de gabarit complet contient 6 PCB.



Une image du PCB DRIVER LED MPQ7200.



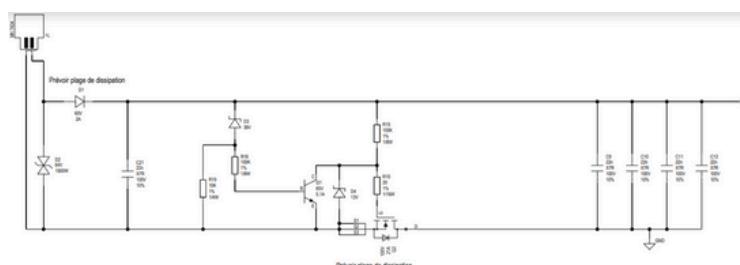
Une image où le PCB DRIVER LED est connecté au PCB LED du milieu.



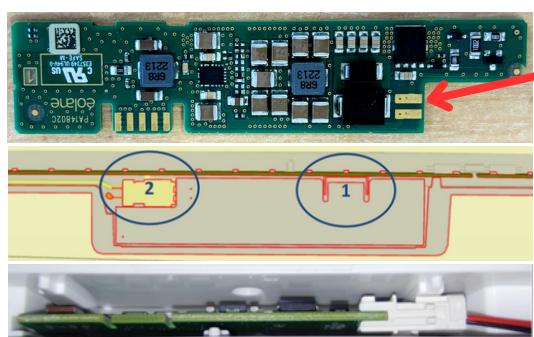
Cette image montre les jumpers qui permettent une connexion entre chaque PCB.

2.2. Développement technique

Ci-dessous la première partie du schéma électrique du DRIVER LED :



Le première partie du schéma montre un circuit de régulation de tension avec une protection contre les surtensions et l'inversion de polarité ainsi qu'une stabilisation de la tension de sortie de 24V.

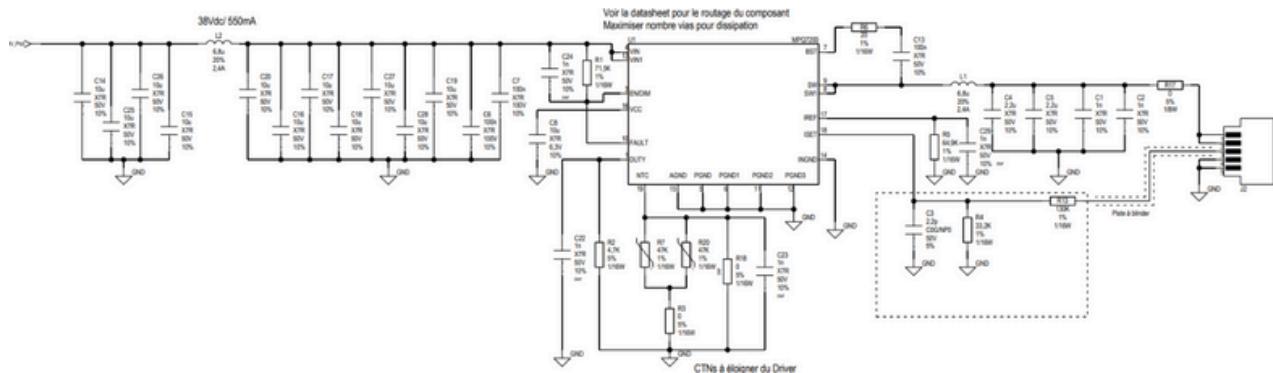


Le connecteur **J1** sur le schéma correspond à l'entrée d'alimentation du PCB, il est alimenté par le véhicule en **24V continu**.

L'alimentation du véhicule en **24V continu** est représenté par le connecteur **(2)** sur la figure de gauche.

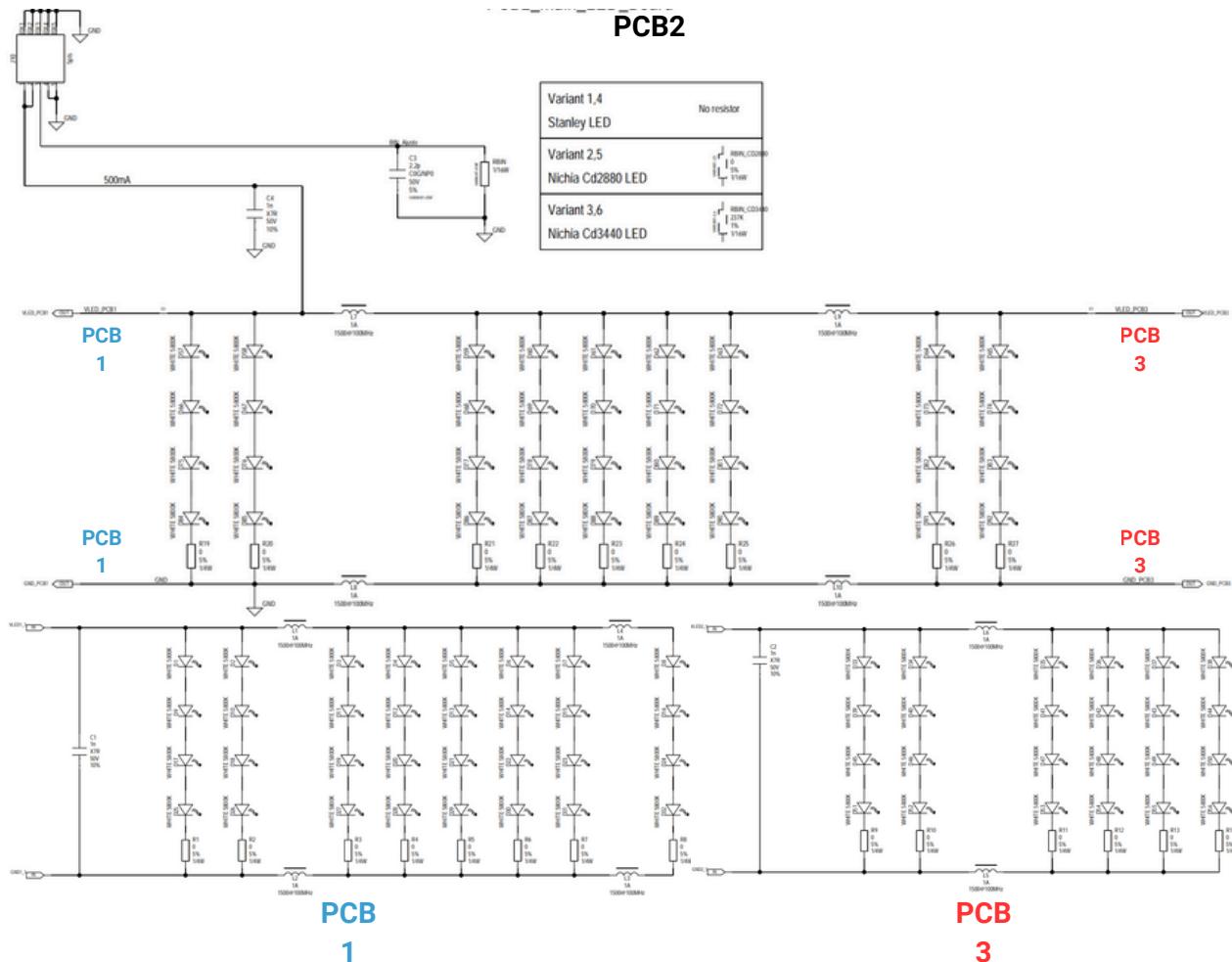
Ce connecteur est représenté à droite sur l'image de gauche.

Ci-dessous la deuxième partie du schéma électronique du driver LED :



Cette partie du schéma remplit plusieurs fonctions. Tout d'abord, la première fonction consiste à lisser et filtrer la tension d'entrée de 24V afin de stabiliser l'alimentation. La deuxième fonction et la plus importante est la régulation du courant des LEDs à l'aide de la résistance R4, dont la valeur est calculée selon la formule : $16/I_{LED}$, permettant ainsi de configurer le courant pour les LEDs. La troisième fonction est le "derating", qui ajuste les performances d'un composant en fonction de certains facteurs environnementaux comme la température ou la tension, afin de ne pas dépasser les limites de fonctionnement et de prolonger leur durée de vie. Sur le schéma, la broche NTC est connectée à deux thermistances, R7 et R20, et permet de contrôler la luminosité des LED en fonction de la température. Lorsque la température dépasse une certaine valeur prédéfinie, le courant ILED est réduit pour éviter une surchauffe, assurant ainsi un fonctionnement sûr et stable dans différentes conditions thermiques.

Analyse du schéma électrique LED:



Le schéma ci-dessus est divisé en trois parties. Il est composé de 3 PCB qui représentent la moitié d'un feu de gabarit SCANIA. Ce schéma électronique contient 92 LEDs formant au total 23 branches de LEDs en parallèle et regroupées en série par groupe de 4 LEDs. L'alimentation de ces LEDs est assurée via le connecteur J1, connecté au PCB DRIVER LED. Les broches 4 et 5 sont reliées au GND, la broche 3 permet la configuration du schéma électronique en fonction des bins de LED comme indiqué sur le tableau, une valeur de résistance est associée à un bin de LED. Les broches 1 et 2 permettent l'alimentation des LEDs. Le condensateur C4 permet de lisser le signal d'alimentation.

Sur le schéma électronique du DRIVER LED, la résistance R4 (RISET) permet de configurer la valeur du courant LED à l'aide de la formule : $I_{LED} (A) = 16 / RISET (k\Omega)$. Or si l'on souhaite un courant de 500mA comme indiqué sur le schéma de la partie LED, alors on modifie la formule : $RISET(k\Omega) = 16/0.5 = 32k\Omega$. On choisit donc une valeur de résistance RISET proche de 32kΩ pour obtenir un courant de ILED équivalent à 500mA. En revanche, sur le schéma du concepteur il est indiqué que $RISET = 33.2k\Omega$ et si l'on fait le calcul pour trouver le courant ILED, on trouve 0,481A (16/33,2). Il y a une différence de 19mA. Pour avoir un courant de 500mA, il faut une résistance de 32kΩ. En revanche il n'existe pas de résistance de 32kΩ, il faut une résistance proche de cette valeur. Il existe une résistance de 32.4kΩ (réf ERA-6AEB3242V), pour cette valeur de résistance on obtient un courant de 493mA (16/32.4), un courant plus proche de 500mA. Dans la suite du développement, j'utiliserais la valeur ISET = 493mA et non celle du concepteur étant de 481mA.

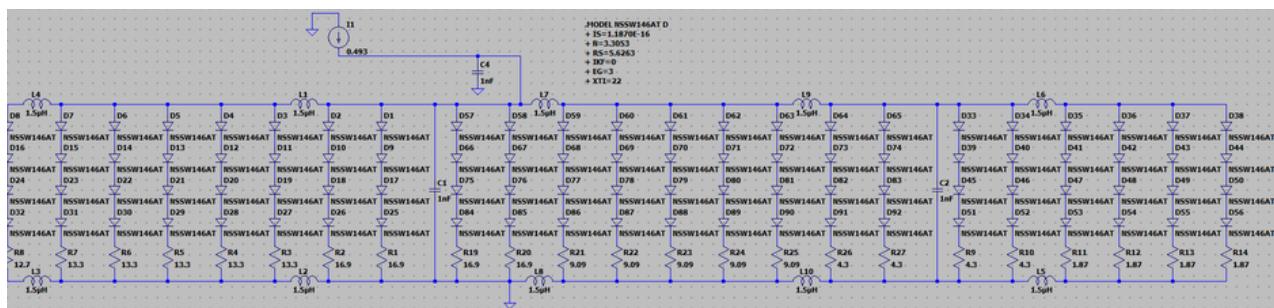
J'ai réalisé la simulation du schéma sur LTSpice. La LED utilisée par le concepteur est la référence NSSW146AT, mais elle n'était pas disponible dans la bibliothèque de composants du logiciel. J'ai donc dû importer son modèle SPICE. J'ai simulé un courant ILED de 493 mA à l'aide d'un générateur de courant.

Dans la version précédente du PCB LED Scania, les bobines n'étaient pas présentes, ce qui permettait une répartition homogène du courant dans chaque branche de LED. Les résistances de 0 Ω en série avec les LEDs étaient utilisées pour limiter la puissance et l'échauffement thermique, assurant ainsi une luminosité uniforme sur l'ensemble du PCB. Cependant, pour répondre aux exigences de compatibilité électromagnétique de Scania, l'ajout de 10 bobines était nécessaire. Cet ajout a perturbé la répartition du courant à travers chaque branche de LED en raison de l'impédance des bobines. Certaines branches de LEDs ont reçu plus de courant que d'autres, ce qui a entraîné une différence de luminosité à différents endroits du PCB. En conséquence, le flux lumineux est plus élevé d'un côté du PCB et plus faible de l'autre, en raison de l'affaiblissement du courant le long du PCB.

En simulation, je n'ai pas tout de suite remarqué ce problème, car le logiciel considère par défaut la bobine comme étant idéale, c'est-à-dire sans aucune résistance interne. En consultant la datasheet de la bobine, j'ai constaté que cette résistance était de 300 mΩ. Bien que cette valeur puisse sembler négligeable, elle entraîne une disparité du courant le long de chaque branche de LED. Pour corriger cela, j'ai dû ajuster la valeur des 23 résistances en série de chaque branche de LED, qui sont initialement des résistances nulles et qui servent à limiter la puissance et l'échauffement thermique.

Pour déterminer chaque valeur de résistance, j'ai procédé par tâtonnement. Le courant de 493 mA se divisait en deux : une moitié du courant allait dans la partie droite du schéma LED, qui contient 13 branches de LED, et l'autre moitié dans la partie gauche, qui comporte 10 branches de LED. Cela signifie que la partie droite nécessite plus de courant que la partie gauche. De plus, la partie droite comprend 6 bobines tandis que la partie gauche en compte 4, ce qui indique que la résistance de la partie droite sera plus élevée que celle de la partie gauche. En ajustant les valeurs de résistance, j'ai cherché à équilibrer le courant entre les deux parties du circuit pour obtenir un courant approximativement identique pour chaque branche de LED.

J'ai supposé que les résistances de la partie gauche auraient une valeur plus élevée que celles de la partie droite, ce qui permettrait d'équilibrer le courant entre les deux parties du circuit.



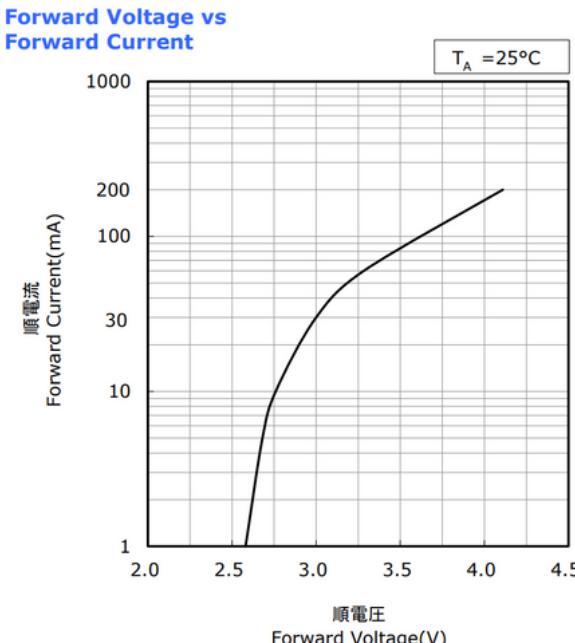
Bien évidemment, il y avait des contraintes à respecter :

- La différence de courant entre chaque branche ne devait pas dépasser les 5%, ce qui permet d'avoir une luminosité homogène.
- Limiter au maximum la dissipation thermique en utilisant des résistances de faible valeur.
- Utiliser des valeurs de résistances disponibles sur le marché.
- Assurer un flux lumineux d'au moins 10 000 cd/m².

Voici un récapitulatif des valeurs de résistances que j'ai utilisé ainsi que leur référence :

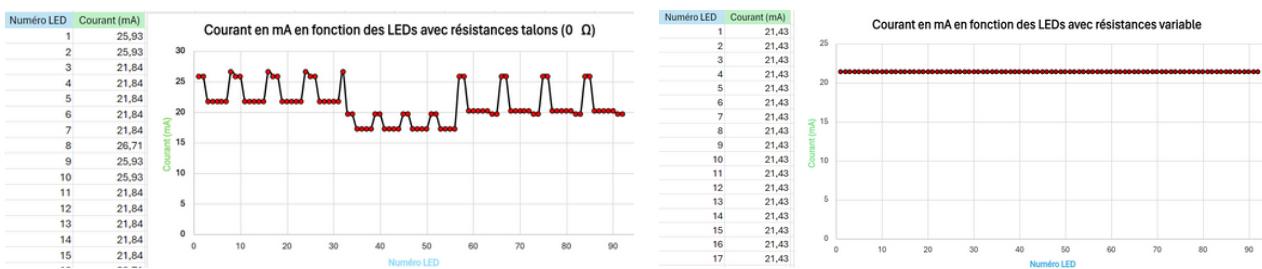
- R8 = 12,7Ω (Référence ERJ-8ENF12R7V)
- R7 = R6 = R5 = R4 = R3 = 13,3Ω (Référence ERJ-8ENF13R3V)
- R2 = R1 = R19 = R20 = 16,9Ω (Référence ERJ-3EKF16R9V)
- R21 = R22 = R23 = R24 = R25 = 9,09Ω (Référence CRCW0859R09FKEA)
- R26 = R27 = R9 = R10 = 4,3Ω (Référence ERJ-6GEYJ4R3V)
- R11 = R12 = R13 = R14 = 1,87Ω (Référence CRCW06031R87FKEA)

Après avoir remplacé les résistances de 0Ω par les nouvelles valeurs de résistance, j'ai trouvé que la tension de chaque LED est de 2,9V avec un courant de 21,43mA. Après vérification, les valeurs correspondent bien à la courbe caractéristique I/V de la LED.



La puissance dissipée totale des résistances est de 99,54mW, ce qui représente 1,67% de la puissance dissipée totale du circuit (5,95W). Ainsi, la contrainte thermique est respectée. De plus, la différence de courant entre chaque branche ne dépasse pas les 5%, et les nouvelles valeurs de résistances sont disponibles sur le marché.

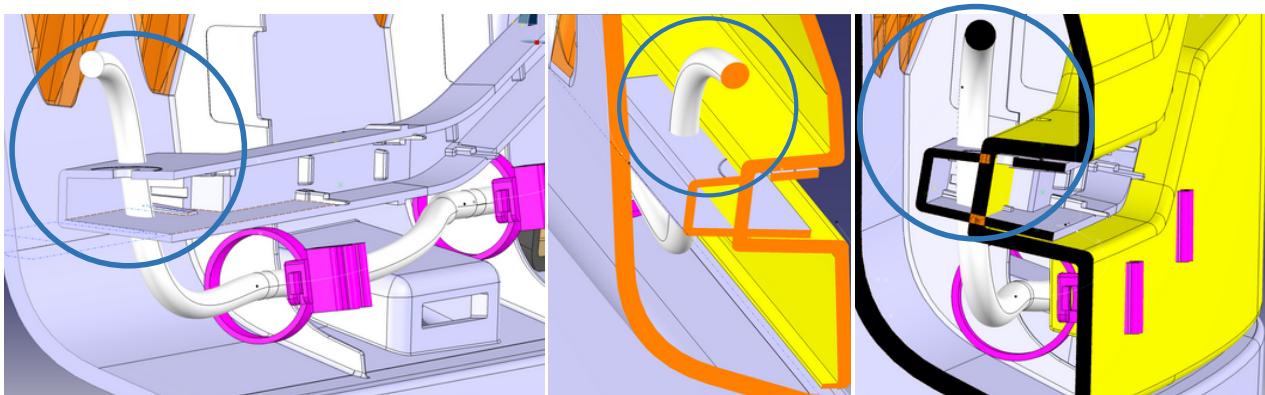
Ci-dessous, deux graphiques qui comparent la différence d'équilibrage du courant et donc de la luminosité des LEDs en fonction des résistances de $0\ \Omega$ et des nouvelles valeurs de résistances.



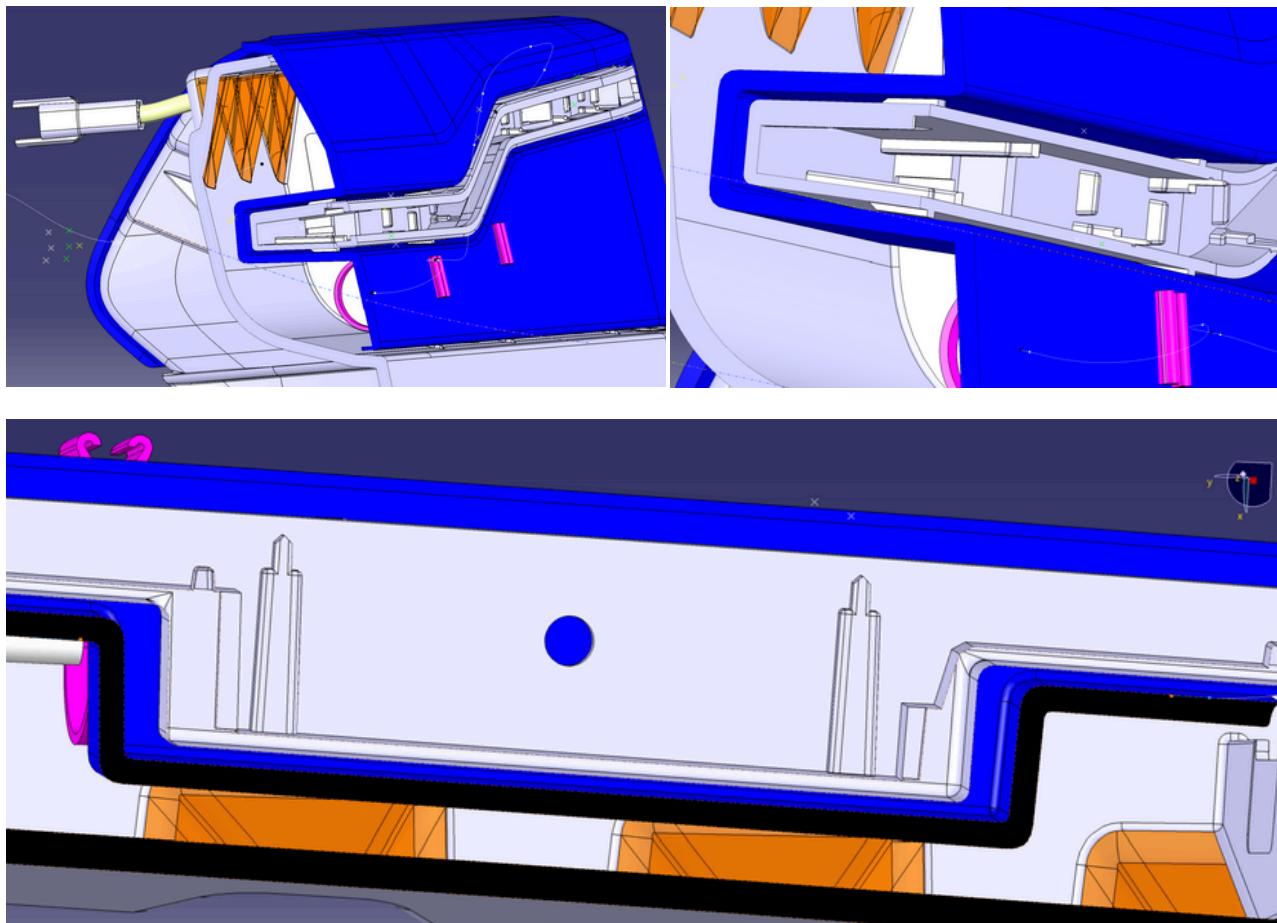
Voici une comparaison des prix entre les résistances de $0\ \Omega$ de l'ancien schéma et celles du nouveau schéma avec les nouvelles valeurs des résistances, ainsi que la modification de la valeur de la résistance R4 qui permet d'ajuster le courant ILED :

Valeur Résistance	Référence	Quantité	Prix unitaire pour une quantité de 1000 résistances	Prix TOTAL
12,7Ω	ERJ-8ENF12R7V	1		0,018
13,3Ω	ERJ-8ENF13R3V	5		0,021
16,9Ω	ERJ-3EKF16R9V	4		0,007
9,09Ω	CRCW0859R09FKEA	5		0,011
4,3Ω	ERJ-6GEYJ4R3V	4		0,015
1,87Ω	CRCW06031R87FKEA	4		0,009
32,4kΩ	ERA-6AEB3242V	1		0,044
				0,346
Valeur Résistance	Référence	Quantité	Prix unitaire pour une quantité de 1000 résistances	Prix TOTAL
0Ω	RK73Z2BTDD	23		0,011
33,2kΩ	ERJ-2RKF3322	1		0,006
				0,029

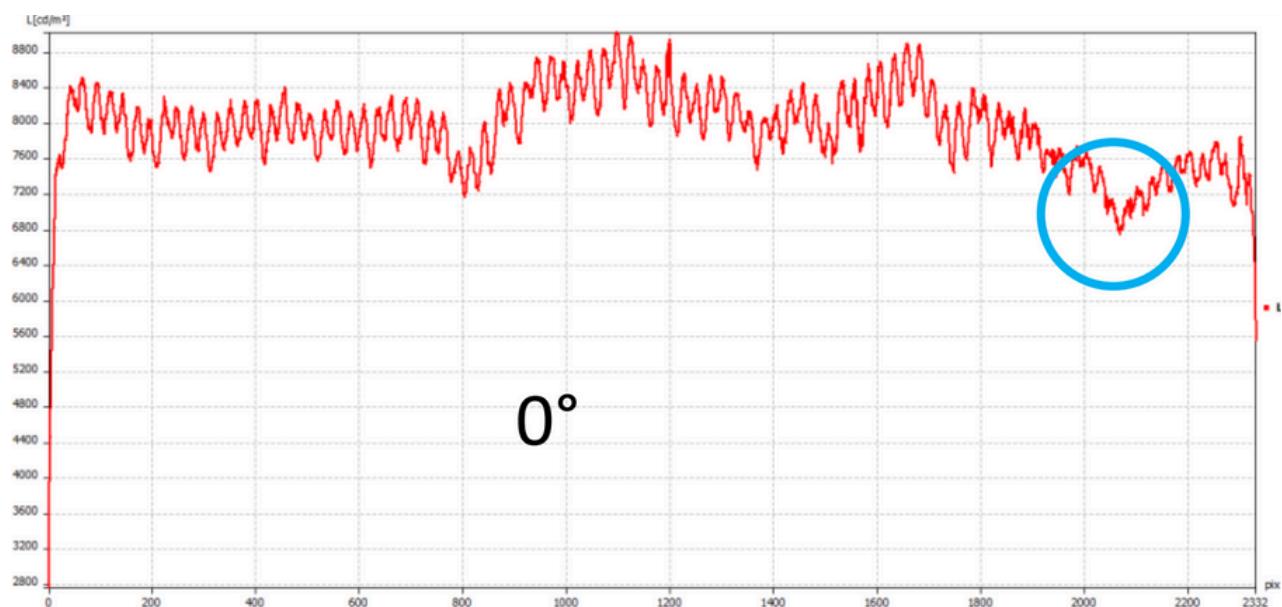
J'ai posé des questions à mon tuteur de stage. Ma première question concernait l'emplacement du driver LED. J'ai demandé : pourquoi ne pas placer le PCB DRIVER sur l'un des deux PCB latéraux pour limiter la longueur des fils, car le PCB DRIVER était placé sur le PCB LED central. Il m'a expliqué que c'était une contrainte imposée par le client, en raison des limitations d'espace dans le véhicule. Il n'y avait pas d'emplacement disponible à l'extrémité des feux pour installer le PCB DRIVER LED, donc l'emplacement sur le PCB du milieu était la seule option viable. On peut également remarquer sur les images ci-dessous qu'un faisceau de câbles a été déplacé pour libérer de l'espace pour le PCB.



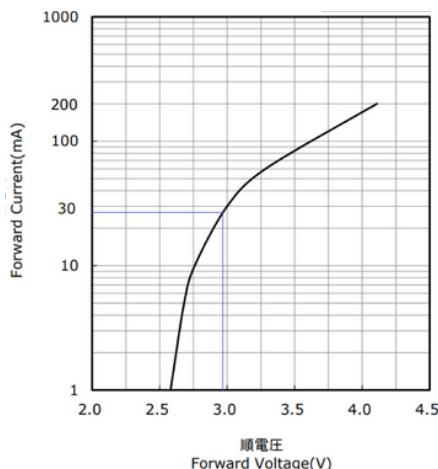
J'ai aussi posé la question suivante : pourquoi ne pas augmenter le courant pour atteindre les $10\ 000\ cd/m^2$. Il m'a répondu que lors du développement, ils ont été limités par des contraintes thermiques. En effet, ce PCB doit être installé dans un emplacement spécifique et est limité par la surface disponible, comme illustré dans les images ci-dessous. Par conséquent, la taille du PCB était limitée, ce qui a restreint la possibilité d'augmenter le courant pour atteindre une luminance plus élevée.



Sur le graphique ci-dessous, on observe la variation du flux lumineux le long du PCB. Il est notable que la répartition n'est pas uniforme, avec une moyenne mesurée à 8000 cd/m^2 , ne parvenant pas à atteindre la valeur de 10000 cd/m^2 demandée par le client.



Le seul moyen d'atteindre la valeur de luminance de $10\ 000\ cd/m^2$ est d'augmenter le courant ILED et en contrepartie trouver une solution pour maximiser la dissipation de la chaleur. Si pour 493 mA, on trouve une luminance moyenne de $8000\ cd/m^2$, alors il faut un courant de 616 mA pour avoir une luminance moyenne de $10\ 000\ cd/m^2$, soit l'équivalent de 26,7 mA/LED. Pour obtenir un courant ILED de 616 mA, il faut modifier la valeur de R4 de la broche ISET en utilisant la formule : $R4 = (16 / \text{ILED})$, donc $R4 = (16 / 0,616)$, R4 vaut $26\ k\Omega$, la valeur la plus proche de $26\ k\Omega$ existante sur le marché est de $25,5\ k\Omega$ (Référence : ERJ-2RKF2552X). Avec cette résistance, on obtient un courant ILED = 0,627 A, soit 27,2 mA/LED. L'augmentation du courant ILED engendre un gain thermique, on passe de 5,95 W à 7,7 W, soit un gain de 1,75 W.

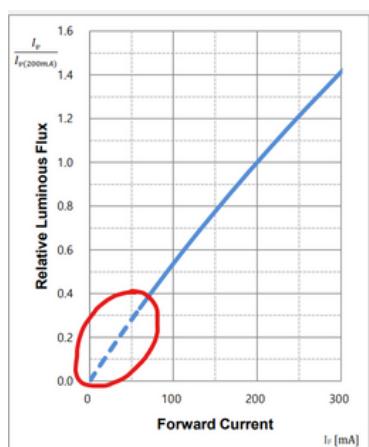


Chaque LED a un courant de 27,2 mA, ce qui correspond à une tension d'environ 2,98 V, ce qui est cohérent avec la courbe caractéristique I/V de la LED.

La source principale de chaleur du PCB LEDs est constituée par les LEDs, qui génèrent à elles seules 97% de la chaleur du PCB. J'ai proposé comme solution de faire des petits trous espacés sur le boîtier au niveau des LEDs pour permettre une meilleure dissipation de la chaleur. J'ai posé la question à l'équipe du bureau d'étude pour savoir si cela était possible. Ils m'ont répondu que le boîtier doit être étanche, donc percer des trous pourrait permettre à l'eau de pénétrer.

Une deuxième solution envisageable serait l'utilisation de LEDs alternatives, ayant une meilleure dissipation thermique et une performance lumineuse supérieure. Par exemple, l'utilisation de la LED Samsung SPHWHTS2N100 pourrait permettre l'utilisation d'un courant presque deux fois inférieur tout en maintenant le même niveau de luminosité. De plus, appliquer un courant faible réduirait la production de chaleur de la LED. En comparant les deux LEDs, j'ai remarqué que la LED Samsung présente de meilleures performances thermiques.

Sachant qu'il faut en moyenne 9 lumen pour obtenir $10\ 000\ cd/m^2$. D'après le graphique "Flux Lumineux / Courant", pour un courant de 200 mA, le flux lumineux typique est de 90 lumen. Ainsi, pour obtenir 9 lumen, soit 10% du flux lumineux typique, il faudrait un courant d'environ 17 mA, ce qui est inférieur de 10,2 mA par rapport à 27,2 mA. Cette réduction du courant permettrait une meilleure dissipation thermique. Je suppose que cette référence de LED n'a pas été utilisée probablement en raison de son coût. En effet, l'entreprise devait respecter un budget pour le PCB, et étant donné qu'il y a 92 LEDs par PCB, l'augmentation du prix d'achat des LEDs entraînerait une hausse importante du coût total d'achat des PCB.



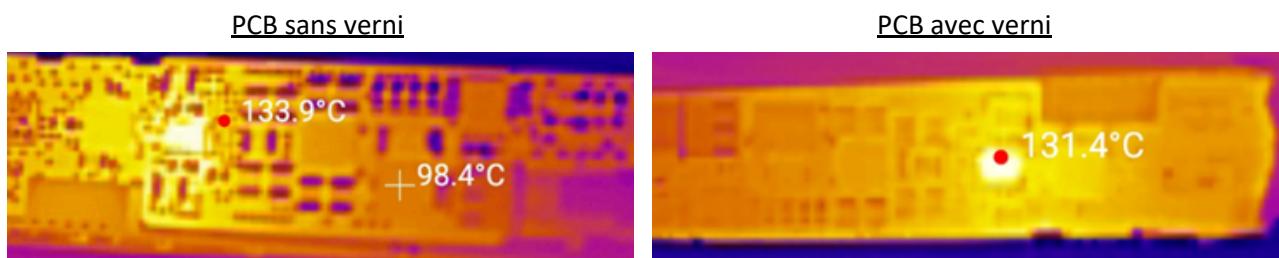
Après vérification, l'utilisation de la LED Samsung n'est pas une solution viable. Comme on peut le voir sur le graphique à gauche, la courbe en pointillés représente une zone de faible courant où les mesures ne sont pas fiables. Cela indique des valeurs théoriques ou estimées qui ne sont pas confirmées par des données expérimentales. Donc l'utilisation d'un courant inférieur à 70mA n'est pas recommandé.

D'après l'équipe du bureau d'étude, le PCB DRIVER LED émettrait le plus de chaleur, ce qui justifie le trou au niveau du PCB DRIVER LED où une pastille est placée pour laisser passer un flux d'air pour éviter la dilatation du plastique due à la chaleur, tout en assurant l'étanchéité.



J'ai proposé plusieurs solutions, telles que l'ajout d'une deuxième pastille d'étanchéité de l'autre côté du boîtier ou l'augmentation du nombre de vias sur le PCB DRIVER LED pour améliorer la dissipation thermique. Une autre solution envisageable pour le PCB est d'utiliser un matériau qui dissipe mieux la chaleur. Une autre option aurait été d'élargir légèrement l'espace dans lequel est placé le PCB pour agrandir sa taille et ainsi augmenter la surface de dissipation thermique. La mise en place d'un dissipateur thermique sur le PCB pourrait également permettre une dissipation efficace de la chaleur. Cependant, les contraintes de positionnement et d'espace pour le PCB empêchent la mise en œuvre de cette solution.

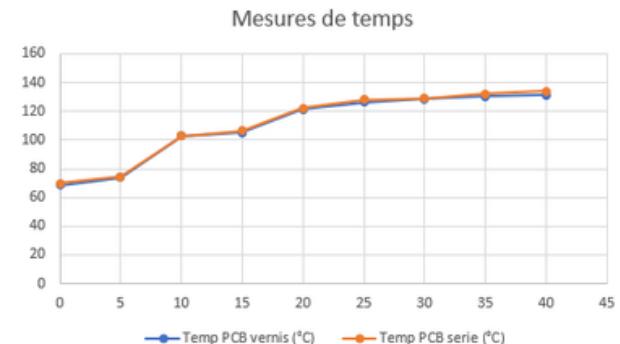
Dans la mesure où ce PCB chauffe beaucoup, un test thermique a été réalisé. Ce test avait pour objectif d'évaluer l'efficacité d'un vernis appliqué sur le PCB pour une meilleure dissipation de la chaleur. Ci-dessous, une image du test thermique effectué sur le PCB DRIVER LED dans une cuve, où la température s'élève jusqu'à 80°C pendant une durée de 40 minutes afin de simuler les conditions réelles à l'intérieur d'un véhicule en marche.



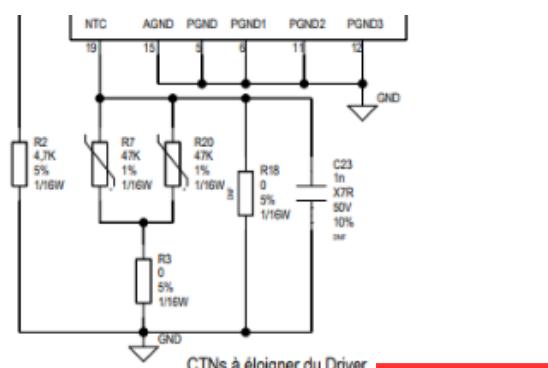
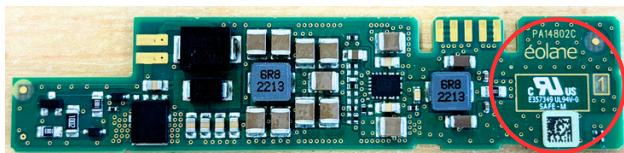
On peut remarquer que le point le plus chaud du PCB est le DRIVER LED MPQ7200, avec une température de 133,9°C sur le PCB sans verni contre 131,4°C sur le PCB avec vernis. La différence de température entre ces deux PCB est négligeable. On remarque également que sur le PCB avec vernis, la chaleur est répartie sur l'ensemble du PCB et n'est pas concentrée sur un seul point.

Sur le graphique ci-dessous, qui compare la température des deux PCB en fonction du temps, on peut observer que la température des PCB se stabilise à partir de 130°C. On remarque ainsi que la différence de température entre ces deux PCB est négligeable. L'idée d'utiliser ce vernis a été abandonnée car cela s'avérait très coûteux et le rapport coût / performance n'était pas favorable.

N°	t (min)	Temp PCB vernis (°C)	Temp PCB série (°C)
1	0	68,6	70
2	5	73,9	74,2
3	10	102,8	103
4	15	105,3	106,3
5	20	121,2	122,2
6	25	126,1	127,9
7	30	128,7	129,1
8	35	130,3	132
9	40	131,4	133,9



Sur le PCB DRIVER LED, j'ai remarqué qu'il y avait une partie vide à droite du PCB où seules les thermistances R7 et R20 sont placées en bas à droite. À première vue, on pourrait envisager de changer la disposition des composants pour mieux les répartir, et ainsi mieux répartir la chaleur. Cependant, cette disposition est probablement due au besoin d'éloigner ces thermistances le plus possible du DRIVER LED, comme indiqué sur le schéma, afin de les isoler des autres composants.



2.3. Conclusion

En conclusion, les contraintes d'espace imposées par le client ne permettent pas de mettre en place des solutions adéquates pour résoudre les problèmes de dissipation de chaleur. Par conséquent, il est impossible d'atteindre les 10 000 cd/m² demandés, car une augmentation de cette luminance entraînerait une élévation significative de la température, qui ne pourrait être dissipée. Cela provoquerait une surchauffe des composants et une dilatation du plastique, ce qui pourrait représenter un danger. La seule amélioration envisageable est l'ajustement des valeurs des résistances afin d'obtenir une meilleure homogénéité lumineuse sur toute la surface du feu de gabarit.

3. Projet Prototype MERCEDES-BENZ BR465

3.1. Introduction technique

Le projet qui m'a été confié à la fin de mon stage consiste à créer un prototype électronique pour éclairer la calandre d'un véhicule Mercedes-Benz. La carte électronique doit prendre la forme de la calandre du véhicule. J'ai été chargé de développer un prototype, donc un éclairage statique, bien que le projet final prévoie un éclairage dynamique avec des animations.

Avant de me lancer dans le développement du projet, j'ai posé quelques questions pour avoir un début de cahier des charges. À cette étape du projet, le cahier des charges n'était pas totalement fixé par le client et des mises à jour étaient prévues dans les jours suivants. Mes questions portaient sur le nombre de LEDs, l'alimentation de la carte électronique, la nécessité d'une régulation de la tension, le flux lumineux à atteindre, la distance minimale entre chaque LED, la connexion entre chaque PCB, les dimensions du PCB ainsi que le nombre de PCB.

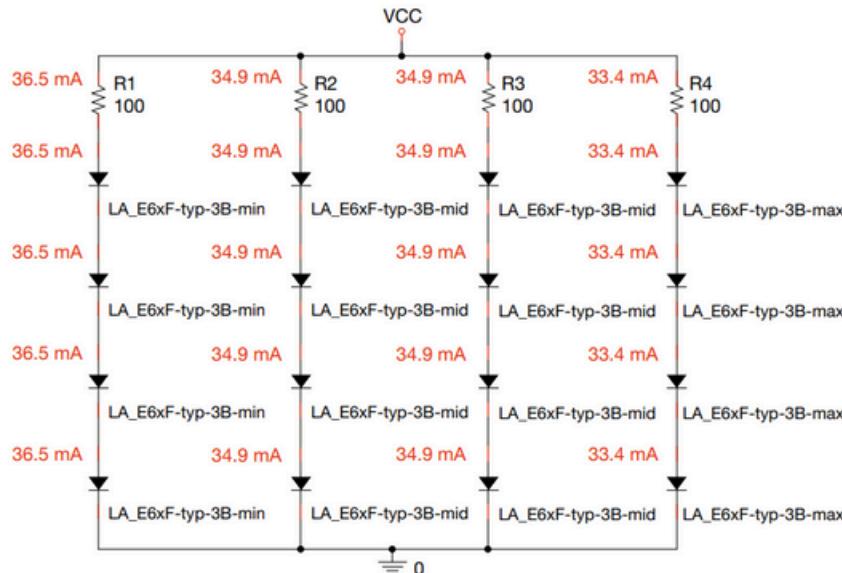
La partie électronique sera composée d'environ 250 LEDs blanches ou moins. L'alimentation de la carte électronique sera fournie par une source de 12V régulée, provenant des phares du véhicule. Le flux lumineux de chaque LED a été fixé à 7 lumen, et la distance minimale entre chaque LED est de 10mm. Les dimensions du PCB m'ont été fournies par le bureau d'étude et il sera divisé en 6 PCB distinct pouvant être connectés entre eux. Concernant les connexions entre chaque PCB, le moyen de connexion n'avait pas encore été déterminé à ce moment-là.

3.2. Développement technique

Pour la première version du prototype, je me suis inspiré du projet SCANIA, en utilisant la même configuration de LEDs en série de 4 avec une résistance pour réguler le courant. Ce schéma, que j'ai retrouvé dans un document d'Osram Opto Semiconductors intitulé « Comparison of LED Circuits », présente plusieurs avantages :

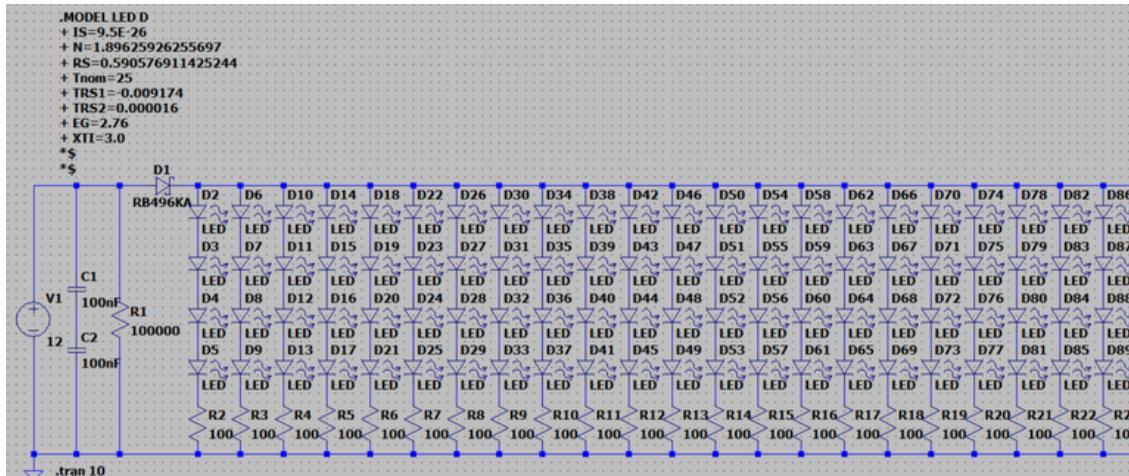
- Le courant pour chaque branche peut être ajusté très précisément grâce aux résistances.
- La conception du circuit est simple et le coût des résistances est relativement bas.
- La défaillance d'une branche de LEDs n'affectera pas le courant des autres branches de LEDs.

Figure 5: Simulation of a serial circuit



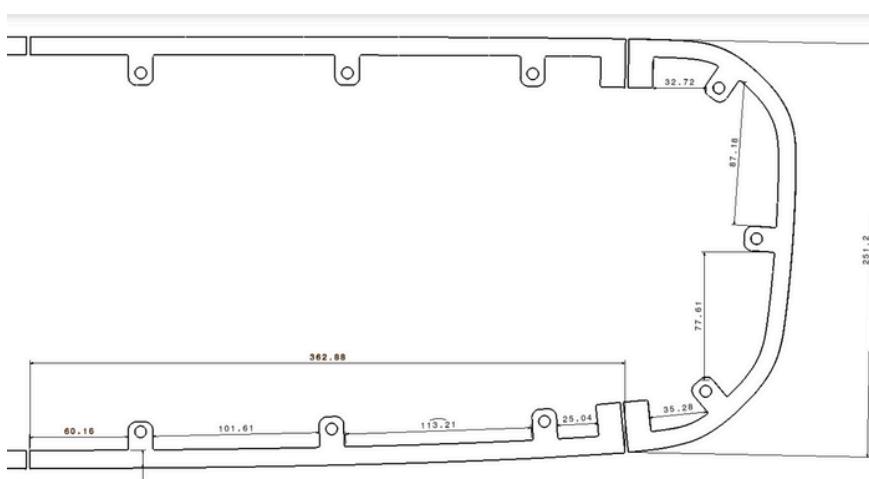
En ce qui concerne la référence des LEDs, à ce stade du développement, le bureau d'étude ne savait pas lesquelles choisir car le cahier des charges n'était pas encore fixé. Cependant, nous disposions d'une seule information : un flux lumineux de 7 lumen par LED. Pour cette première version, j'ai donc opté pour des LEDs SAMSUNG SPHWHTS2N100, que j'ai finalement changées par la suite.

Après avoir reproduit le schéma sur LTSpice, j'ai utilisé 256 LEDs, organisées en séries de 4 LEDs avec une résistance de $100\ \Omega$ pour réguler le courant à 12 mA. Cela permettait d'obtenir environ 7 lumen par LED avec cette référence. J'ai importé le modèle Spice de la LED Samsung sur le logiciel, car elle n'était pas directement disponible dans la bibliothèque LTSpice.



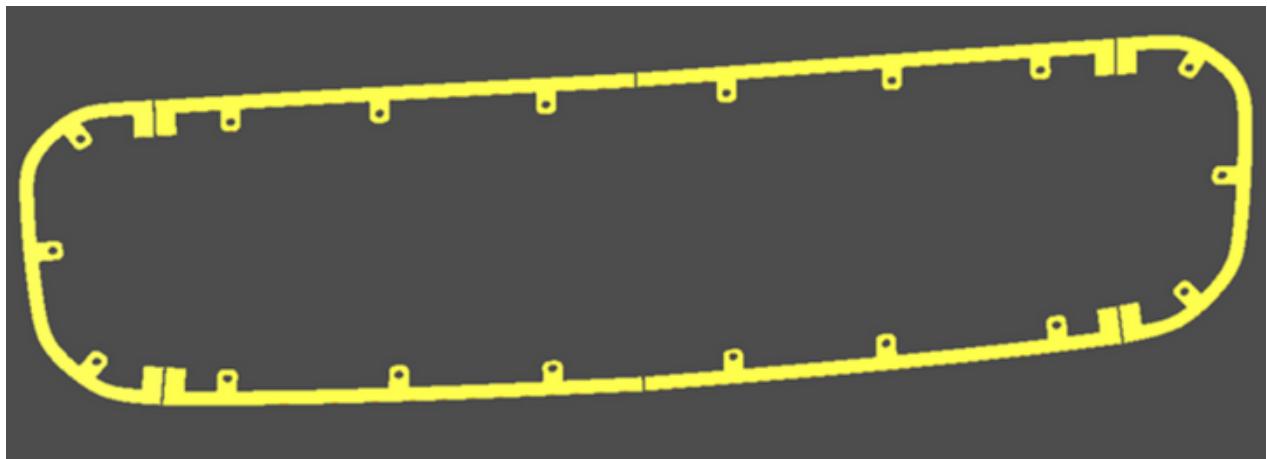
J'ai également réalisé un schéma avec une configuration de 3 LED en série, avec le même nombre total de LEDs, afin de comparer cette configuration avec celle comportant 4 LED en série. La différence principale entre ces deux configurations réside dans la consommation du courant. En effet, j'ai remarqué que la configuration avec 3 LED en série consomme plus. Cela s'explique par le fait qu'il y a plus de branches de LEDs, ce qui nécessite un courant plus élevé pour alimenter le circuit. La consommation de courant a augmenté de 25 % entre ces deux configurations. De plus, l'augmentation du nombre de branches de LED nécessite davantage de résistances, ce qui accroît la production de chaleur par le PCB et, par conséquent, augmente le coût de fabrication. J'en ai conclu qu'il est préférable de privilégier la configuration avec 4 LED en série car elle est plus efficiente en termes de consommation de courant et de gestion thermique, tout en étant plus économique.

Par la suite, le bureau d'étude m'a fourni les dimensions du PCB. J'ai créé le PCB à l'aide du logiciel KICAD, un outil de CAO similaire à Altium. Cela m'a permis d'estimer le nombre de LED que l'on peut placer sur chaque PCB, en tenant compte de la distance minimale de 10 mm entre chaque LED.

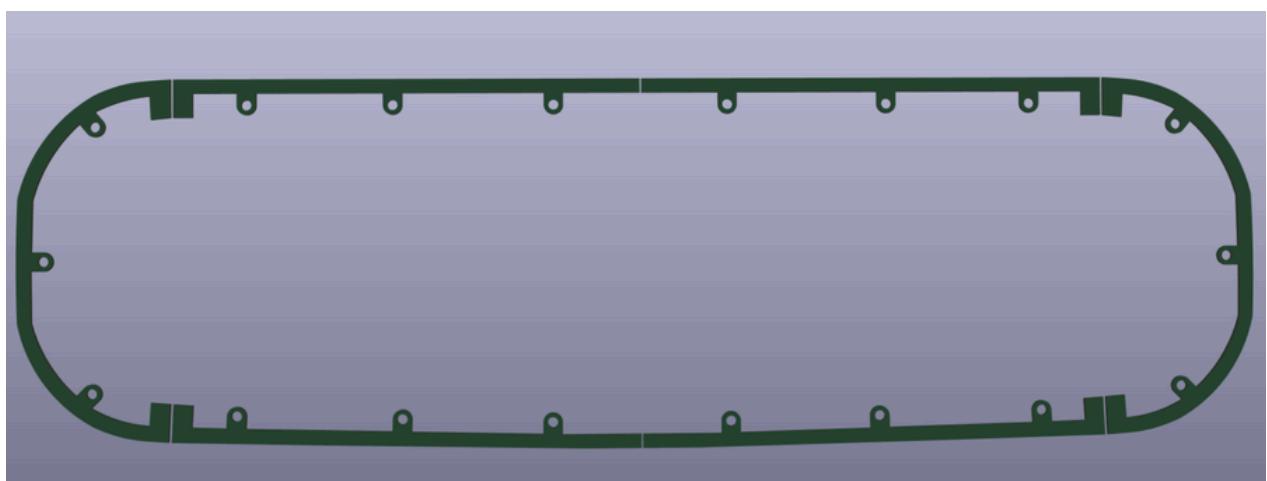


J'en ai conclus que chaque PCB va contenir environ 32 LEDs, soit 192 LEDs au total pour les 6 PCB.

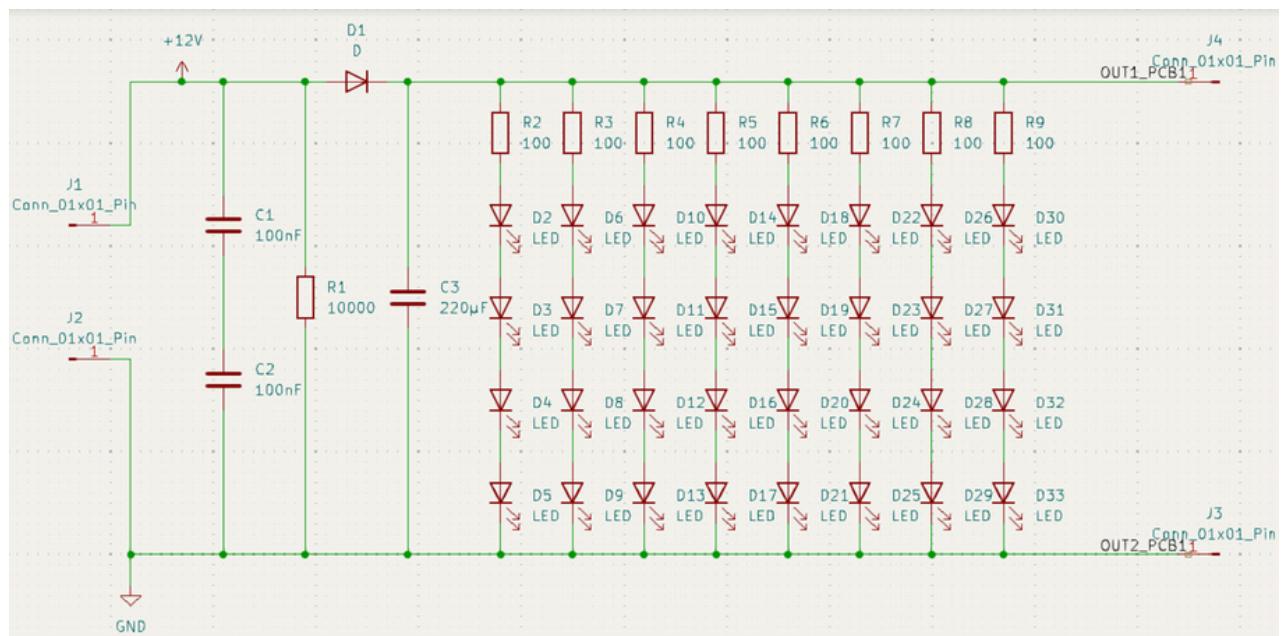
Voici une image de la structure du PCB :



Voici une image du PCB que j'ai recréé sur le logiciel KiCad en essayant de respecter les dimensions :

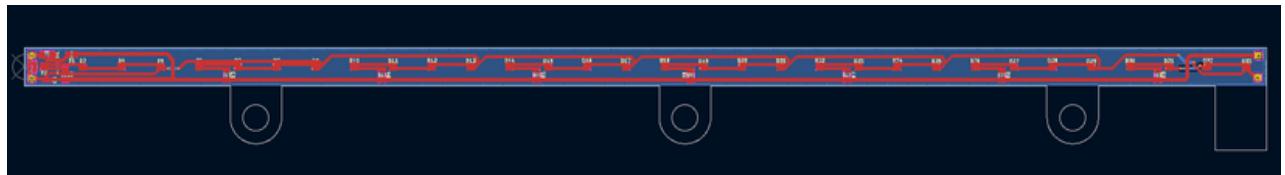


Après avoir eu une idée du nombre de LEDs par PCB, je suis passé à la conception du schéma. J'ai créé un schéma simple pour avoir un premier aperçu :

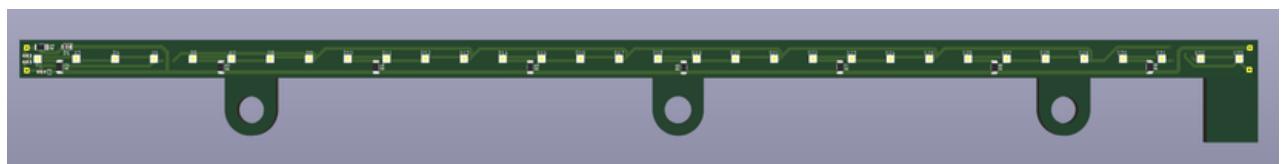


Le connecteur J1 fournit une alimentation en 12V continu provenant des phares du véhicule. Les condensateurs C1, C2 et C3 ainsi que la résistance R1 filtrent et stabilisent le signal d'alimentation. La diode D1, une diode Schottky, protège contre l'inversion de polarité. Les résistances en série dans chaque branche de LEDs régulent le courant traversant les LEDs. Des vias sont placés à chaque extrémité du PCB pour les relier entre eux via des fils, car à ce stade du développement, le sujet de la connexion entre chaque PCB n'avait pas encore été abordé.

Après avoir placé les composants sur l'un des 6 PCB, voici le résultat :



Et voici un aperçu 3D, du PCB :



Le problème que j'ai rencontré avec le placement des composants sur le PCB est lié à l'espace restreint. En effet, le client a contraint une largeur de 11 mm, ce qui limite la connexion entre les composants. J'ai donc été obligé d'utiliser des vias pour connecter certains composants entre eux.

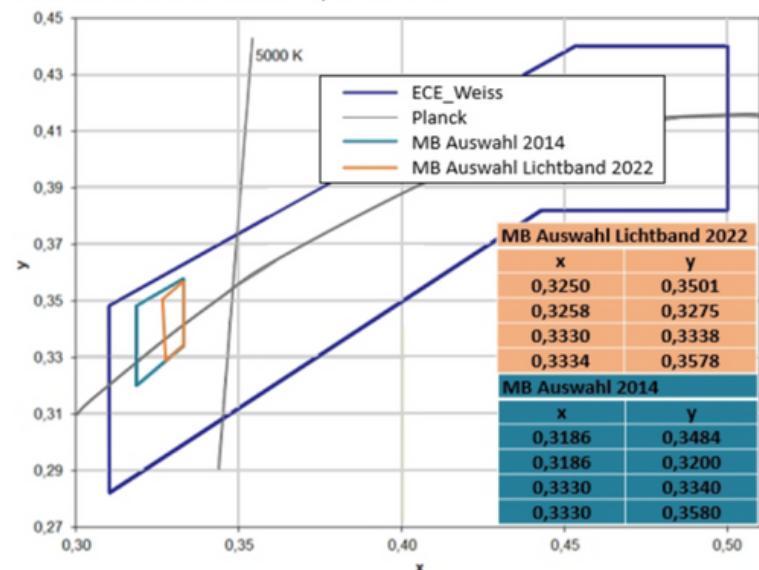
Durant ce projet, Luxor Lighting avait demandé à ECVF d'encadrer le projet, donc j'ai pu poser des questions à ECVF. Durant la réunion avec ECVF, j'ai présenté mon prototype, je leur ai demandé un avis critique sur mon travail et j'ai aussi posé des questions : telles que la référence de la LED à utiliser, le modèle de connecteurs à utiliser ainsi que leur placement sur les différents PCB, la largeur des pistes pour le 12V, GND, et autres signaux, ainsi que la possibilité d'utiliser des vias. Concernant la référence de la LED, c'est à Luxor Lighting de la choisir, en respectant le cahier des charges, incluant une colorimétrie blanche très précise que je détaillerai plus tard, ainsi que la disponibilité de la LED sur le marché. Le modèle de connecteurs dépendra de la LED sélectionnée ainsi que du courant maximal du circuit. Concernant le placement des connecteurs, ECVF m'a conseillé de les placer sur la surface inférieure du PCB. Concernant la largeur des pistes, on m'a proposé le logiciel "SaturnPCB" pour calculer la largeur des pistes en fonction du courant. Enfin, concernant les vias, je peux en utiliser et je serai certainement contraint d'en utiliser en raison de l'espace restreint sur le PCB. En ce qui concerne l'espace du PCB, j'ai demandé durant la réunion s'il était possible de demander au client d'augmenter la largeur du PCB. Plus tard, Mercedes a pu augmenter la largeur du PCB, qui est passée de 11 mm à 20 mm.

J'ai aussi demandé à ECVF si mon schéma prototype était correct. On m'a répondu qu'il l'était, mais qu'une amélioration était possible au niveau des résistances R2 à R9. Il serait préférable de les remplacer par un driver LED à courant constant linéaire, ce qui permettrait de dissiper plus facilement la chaleur et d'obtenir un courant plus stable à travers les LEDs, assurant ainsi une homogénéité lumineuse et évitant les fluctuations.

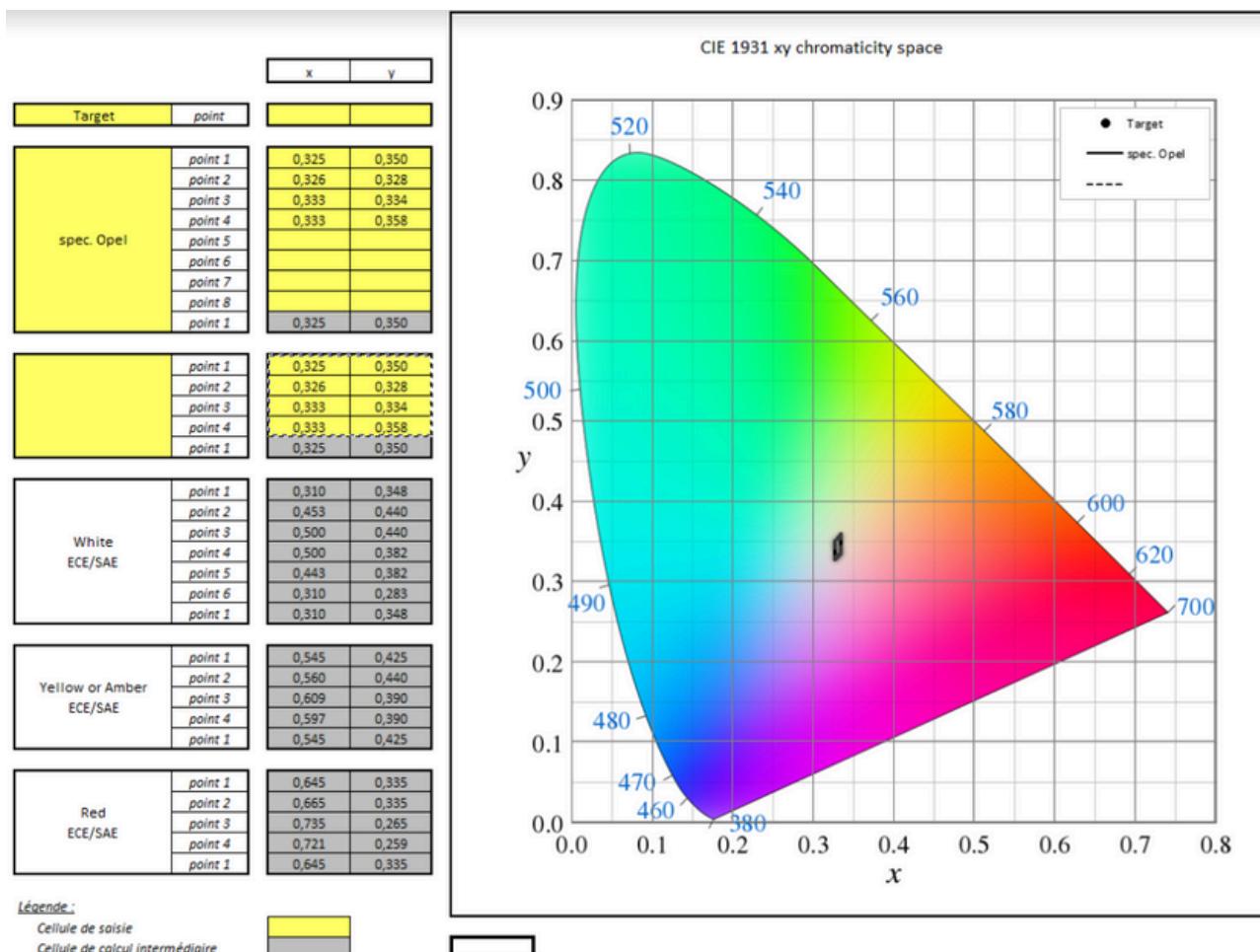
Comme expliqué précédemment, pour avancer le projet, il fallait choisir une référence de LED, ce choix de LED dépend en grande partie des coordonnées de chromaticité. Les coordonnées de chromaticité sont une façon de décrire la couleur d'une lumière en termes de deux valeurs numériques, généralement notées x et y .

Par exemple, voici l'évolution des exigences de Mercedes entre 2014 et 2022 en termes de coordonnées de chromaticité, plus particulièrement pour la couleur blanche. Le carré bleu turquoise représente les exigences de 2014, avec les coordonnées maximales à ne pas dépasser. L'objectif est de rester dans ce rectangle pour respecter les contraintes de couleurs. En 2022, ce rectangle (orange) est devenu plus étroit, car les exigences sont devenues plus strictes ; ainsi, Mercedes cherche à obtenir une colorimétrie encore plus proche du blanc pur.

The colour impression of white LED light functions must correspond to the Mercedes-Benz colour selection specified here.



Voici la représentation des exigences de chromaticité de Mercedes en 2022 pour la couleur blanche sur un diagramme de chromaticité, représenté par le rectangle noir :

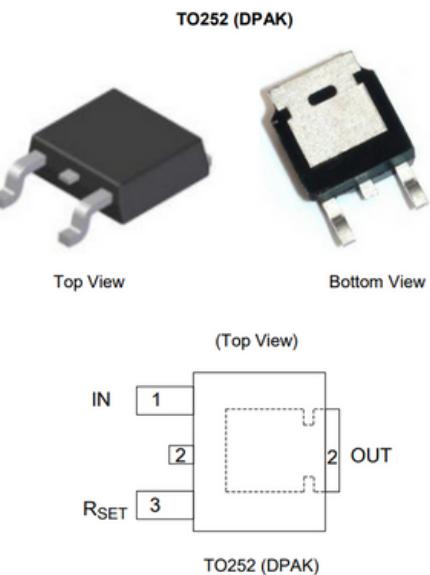


L'objectif est donc de trouver une LED qui respecte ces nouvelles exigences, c'est-à-dire ayant un "color bin" qui se situe dans ce rectangle. Cependant, cela devient complexe car il faut trouver une LED qui possède ce color bin tout en respectant les contraintes lumineuses imposées par le client. De plus, la LED doit être performante et également certifiée AEC-Q pour répondre aux normes de qualité de l'industrie automobile.

Après des recherches avec le bureau d'études, plusieurs LEDs ont été proposées et une seule a été choisie, la LED KW DELSS2.CC. Elle a été sélectionnée car elle répond aux exigences du client en termes de color bin, de contraintes lumineuses, de performances et de certification AEC-Q.

À ce moment-là, Mercedes a mis à jour son cahier des charges : la plage de flux lumineux est de 7 lumen à 10 lumen, la plage d'alimentation est de 8V à 18V, et la largeur du PCB est passée à 20 mm.

Une fois la référence de la LED trouvée, j'ai commencé à rechercher un driver LED à courant constant linéaire pouvant être utilisé pour remplacer les résistances. J'ai proposé plusieurs références à ECVF, et ils m'ont conseillé de trouver un modèle avec un boîtier plus grand pour une meilleure dissipation de chaleur, tel qu'un boîtier DPAK. Finalement, j'ai identifié une référence correspondant à ces critères, le AL5810QD-13.



Pin Descriptions

Pin Name	Pin Number		Function
	W-DFN2020-3/SWP (Type A)	TO252 (DPAK)	
IN	1	1	LED Current Input Terminal Current flows IN to this pin. For low-side application, connect the LED cathode terminal to the IN terminal. For high-side application, connect V_{IN} to the IN terminal.
RSET	2	3	LED Current Setting Pin For low-side application, connect a resistor from this pin to GND. For high-side application, connect a resistor in between the RSET and OUT terminal. LED current is determined by this equation: $I_{LED} = 750 / R_{SET}$
OUT	3	2	LED Current Output Terminal Current flows OUT of this pin. For low-side application, connect the OUT terminal to GND. For high-side application, connect the LED anode terminal to the OUT terminal.

J'ai remarqué dans la datasheet qu'il y a deux types de circuits d'application typiques possibles : en low-side et en high-side.

Typical Applications Circuit

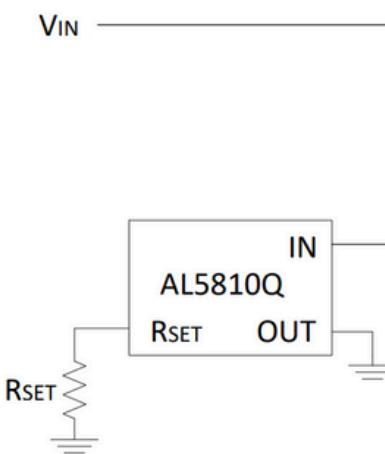


Figure 1. Low-Side Application

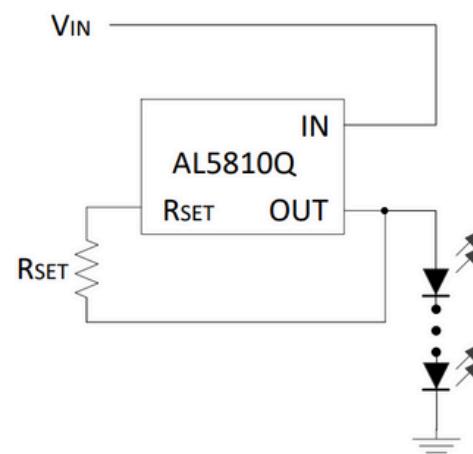


Figure 2. High-Side Application

J'ai demandé à ECVF quel type de circuit choisir pour notre application, et ils m'ont répondu que le low-side était le plus adapté.

Le principe d'un driver LED est le suivant : on peut mettre en série autant de LED que nécessaire jusqu'à atteindre la tension de sortie maximale ($V_{out\ max}$) du driver. Il est essentiel de respecter la tension de fonctionnement recommandée par le driver pour assurer sa régulation. Par exemple, si la tension de seuil direct (V_F) des LEDs est de 3,2V, et que la tension de fonctionnement du driver est de 1,4V, alors en alimentant le driver avec 40V, on peut connecter jusqu'à 12 LEDs en série par driver, calculé comme suit : $((40V - 1,4V) / 3,2V)$.

La première étape a été de rechercher la tension de régulation du driver LED dans la datasheet. Celle-ci est indiquée comme étant de 2,5V, comme le montre le graphique et le tableau ci-dessous :

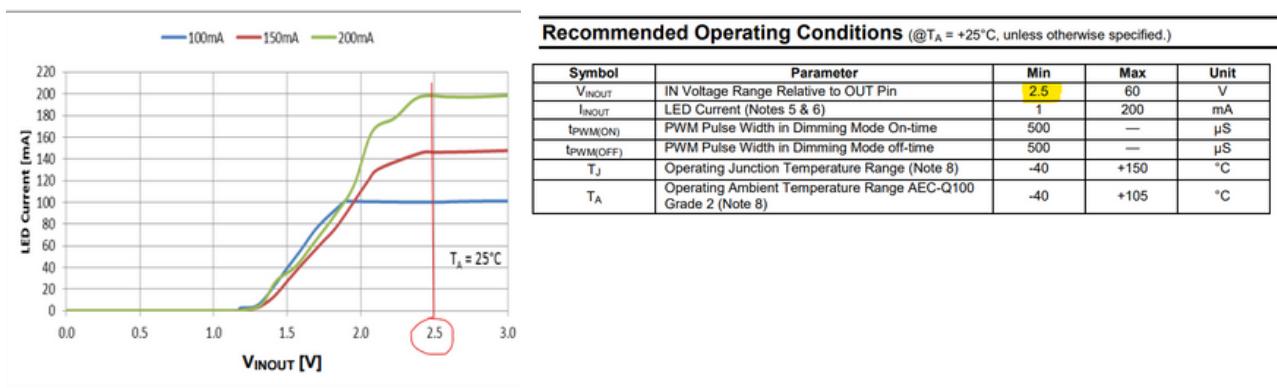


Figure 5. Startup Minimum Operating Voltage

Ensuite, j'ai calculé, pour chaque tension d'alimentation de 8V à 18V, le nombre maximum de LED que l'on peut utiliser par branche en me basant sur les spécifications de la LED fournies dans sa datasheet. Après avoir comparé les résultats pour chaque tension d'alimentation, j'ai choisi d'utiliser une tension d'alimentation de 18V.

LED : OSRAM KWDELSS2.CC / DRIVER : AL5810QD-13

- LED (Min) : VFmin = 2.8V/30mA
- LED (Typique) : VFtyp = 3.3V/30mA
- LED (Max) : VFmax = 3.6V/30mA
- Tension de régulation : 2,5V

On ajoute un coefficient de 2 % pour être sûr que chaque LED atteint son VFmax.

$$\rightarrow VF_{max} = 1.02 * 3.6V = 3.7V$$

On calcule le nombre de LEDs maximal que l'on peut mettre en série avec une alimentation de 18V :

$$\rightarrow \text{NombreLEDs} = ((\text{Tension_Alimentation} - \text{Tension_Regulation}) / Vf_{Max}) = (18 - 2.5) / 3.7 = 4 \text{ LEDs}$$

$$\rightarrow V_{OUT} = \text{Tension_Alimentation} - (\text{NombreLEDs} * Vf_{max_LED}) = 18V - (4 * 3.7V) = 3.2V$$

Pour VF = 3.7V : $(4 * 3.7V) + 2.5V = 17.3V$, il faut dans ce cas utiliser une diode de protection Schottky avec un VF < 0.7V pour ne pas dépasser 18V.

Pour 8 branches de LEDs avec 4 LEDs en série par PCB :

$$\rightarrow \text{Puissance dissipée} = 8 * 0.03 A * (18V - (4 * 2.8V)) = 1.632W \text{ (avec } VF_{min} = 2.8V, \text{ on prend le } Vf \text{ le plus faible, car on raisonne en fonction du pire cas).}$$

Dans le pire cas, la puissance à dissiper est de 1.632W.

Température de jonction :

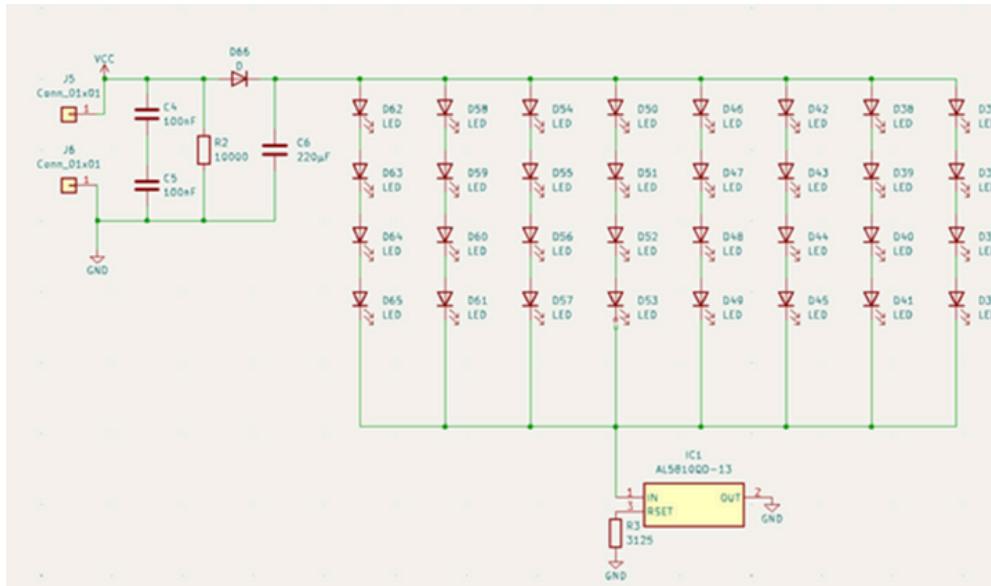
$$\rightarrow T_j = T_a + P$$

Dans notre cas, le prototype sera dans une température ambiante de 30°C et la puissance dissipée pour un driver qui contrôle 8 branches de 4 LEDs en série est de 1.632W.

$$\rightarrow T_j = 30^\circ C + 1.632W = 31,632^\circ C/W$$

Si chaque branche doit avoir un courant de 30mA et qu'il y a 8 branches, alors le courant total est de 30mA * 8 = 240mA. La résistance RSET se calcule ainsi : $RSET = 750 / 0.240 = 3125 \Omega$.

Voici le schéma équivalent si l'on utilise 8 branches, chaque branche ayant un courant de 30mA :



Après vérification, j'ai remarqué un problème, le driver LED peut réguler jusqu'à un maximum de 250mA, comme indiqué ci-dessous :

Absolute Maximum Ratings (@ $T_A = +25^\circ\text{C}$, unless otherwise specified.)

Symbol	Parameters	Ratings	Unit
V_{INOUT}	IN Pin Voltage Relative to OUT pin	-0.3 to +66	V
V_{RSET}	R_{SET} Pin Voltage Relative to OUT pin	-0.3 to +6	V
I_{INOUT}	LED Current from IN to OUT	250	mA
ESD HBM	Human Body Model ESD Protection	4,000	V
ESD CDM	Charged Device Model ESD Protection	1,000	V
T_J	Operating Junction Temperature	-40 to +150	$^\circ\text{C}$
T_{ST}	Storage Temperature	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

On doit réguler un courant de 240 mA, alors que le driver LED peut réguler au maximum 250 mA. Pour éviter toute surcharge, j'ai décidé d'utiliser deux drivers LED par PCB. Initialement, j'ai prévu d'utiliser un total de 192 LEDs, soit 32 LEDs par PCB, afin de faciliter la gestion avec les drivers LED. Cependant, le bureau d'étude a souhaité ajouter un maximum de LEDs, ce qui nous a conduit à un total de 218 LEDs : 36 LEDs par PCB pour ceux situés en haut et en bas, et 37 LEDs par PCB pour ceux situés sur les côtés.

Le problème avec l'utilisation de 218 LEDs se posait pour les PCBs situés sur les côtés, car 37 LEDs ne sont pas un multiple de 4, ce qui pose un problème de gestion avec les drivers LED. Après une discussion avec le bureau d'étude, j'ai pu négocier l'utilisation de 36 LEDs par PCB pour le prototype, ce qui nous donne un total de 216 LEDs.

Avec 36 LEDs par PCB en configuration de 4 LEDs en série, on a 9 branches de LEDs à contrôler. La seule solution envisageable est d'utiliser deux drivers LED, l'un contrôlant 4 branches de LEDs et l'autre contrôlant 5 branches de LEDs.

De plus, j'ai dû sélectionner trois bins de LEDs dans les brightness groups, correspondant à la luminosité des LEDs en fonction d'un même courant. Par exemple, pour un courant de 30 mA, certaines LEDs éclairent plus que d'autres. En utilisant le tableau ci-dessous ainsi que les graphiques, j'ai pu déterminé le courant pour chaque bin de LEDs afin d'obtenir une moyenne de 8 lumen par LED.

Voici le tableau et les graphiques utilisés pour ajuster les courants :

Brightness Groups

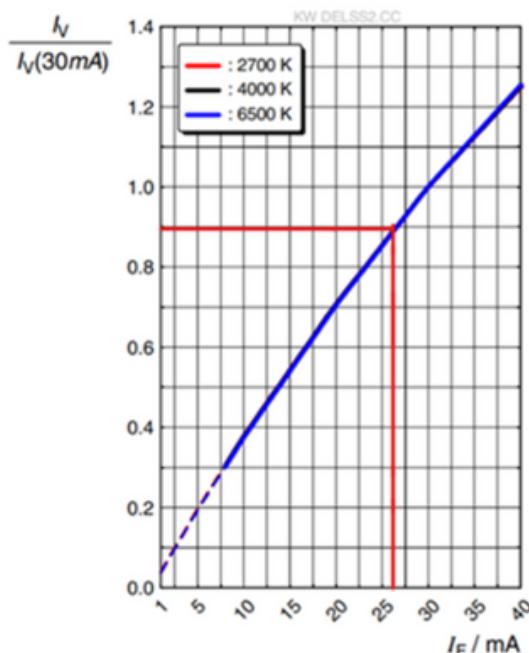
Group	Luminous Intensity ¹⁾ $I_F = 30 \text{ mA}$ min. I_v	Luminous Intensity ¹⁾ $I_F = 30 \text{ mA}$ max. I_v	Luminous Flux ⁶⁾ $I_F = 30 \text{ mA}$ typ. Φ_v
BX	1800 mcd	2100 mcd	5850 lm
BY	2100 mcd	2400 mcd	6750 lm
BZ	2400 mcd	2800 mcd	7800 lm
CX	2800 mcd	3300 mcd	9150 lm
CY	3300 mcd	3900 mcd	10800 lm

Sachant que la plage du flux imposé par Mercedes est entre 7 et 10 lumen, j'ai décidé d'utiliser les 3 brightness groups suivants : BZ, CX et CY.

Pour avoir une moyenne d'environ 8 lumen par LEDs, j'ai ajusté les courants de ces 3 brightness groups. Pour le brightness group BZ, son flux lumineux typique est de 7.8 lm pour un courant de 30mA.

Relative Luminous Intensity ^{6), 7)}

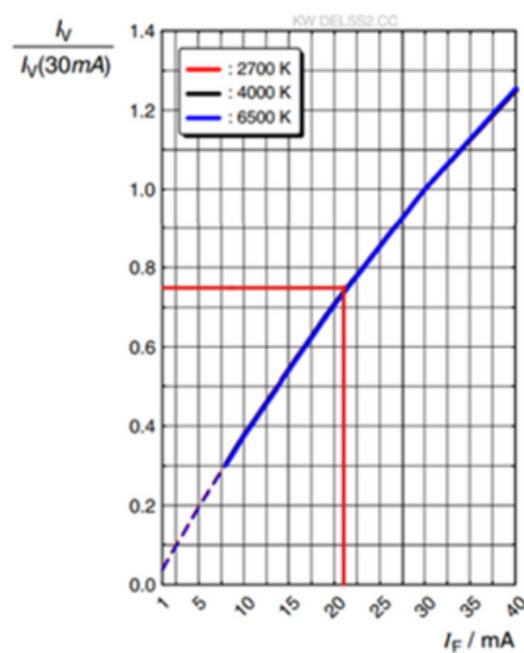
$$I_v/I_v(30 \text{ mA}) = f(I_F); T_S = 25^\circ \text{C}$$



Pour le brightness group CX, son flux lumineux typique est de 9.15 lm pour un courant de 30mA. Ainsi, en utilisant le graphique ci-dessus, on peut estimer qu'à un courant de 26 mA, le flux lumineux représente environ 90% de la valeur typique soit 8.2 lumen.

Relative Luminous Intensity ^{6), 7)}

$$I_v/I_v(30 \text{ mA}) = f(I_F); T_S = 25^\circ \text{C}$$



Pour le brightness group CY, son flux lumineux typique est de 10.36 lm pour un courant de 30mA. Ainsi, en utilisant le graphique ci-dessus, on peut estimer qu'à un courant de 21mA, le flux lumineux représente environ 75% de la valeur typique, soit 8.1 lumen.

Maintenant que l'on a déterminé les différents courants pour les différents brightness groups, on doit configurer les valeurs de la résistance RSET pour ajuster le courant en fonction des différentes configurations (groupe de LED, configuration à 4 ou 5 branches). ECVF m'a demandé de trouver une méthode pour installer les résistances de manière à sélectionner la valeur appropriée en fonction de la configuration, sans avoir à concevoir un PCB spécifique pour chaque configuration.

J'ai proposé deux idées : la première consistait à utiliser un commutateur rotatif réglable sur la résistance RSET en fonction de la configuration utilisée, tandis que la deuxième proposition était d'installer des pastilles très proches les unes des autres, que l'on pourrait souder ou non avec une bille d'étain. Cette dernière méthode permettrait de connecter ou non certaines résistances pour sélectionner la configuration souhaitée. Les deux solutions étaient envisageables, mais la deuxième s'est avérée être la moins coûteuse.

Ensuite, il a fallu que je calcule les différentes résistances RSET en fonction des configurations, je rappelle que la formule pour calculer RSET est la suivante : $RSET = 750/ILED$

Configuration 4 branches de LEDs :

Brightness Group **BZ** : **30mA** par branche de LEDs soit **120mA** par driver $\rightarrow RSET = 750/4*0.030 = 6250 \Omega$

Brightness Group **CX** : **26mA** par branche de LEDs soit **104mA** par driver $\rightarrow RSET = 750/4*0.026 = 7211 \Omega$

Brightness Group **CY** : **21mA** par branche de LEDs soit **84mA** par driver $\rightarrow RSET = 750/4*0.021 = 8928 \Omega$

Voici les résistances les plus proches disponibles sur le marché et certifiées AEC-Q :

Brightness Group **BZ** : **30mA** par branche de LEDs : **6200 Ω** \rightarrow CRCW08056K20FKEA

Brightness Group **CX** : **26mA** par branche de LEDs : **7150 Ω** \rightarrow CRCW08057K15FKEA

Brightness Group **CY** : **21mA** par branche de LEDs : **9090 Ω** \rightarrow CRCW08059K09FKEA

Configuration 5 branches de LEDs :

Brightness Group **BZ** : **30mA** par branche de LEDs soit **150mA** par driver $\rightarrow RSET = 750/5*0.030 = 5000 \Omega$

Brightness Group **CX** : **26mA** par branche de LEDs soit **130mA** par driver $\rightarrow RSET = 750/5*0.026 = 5769 \Omega$

Brightness Group **CY** : **21mA** par branche de LEDs soit **105mA** par driver $\rightarrow RSET = 750/5*0.021 = 7142 \Omega$

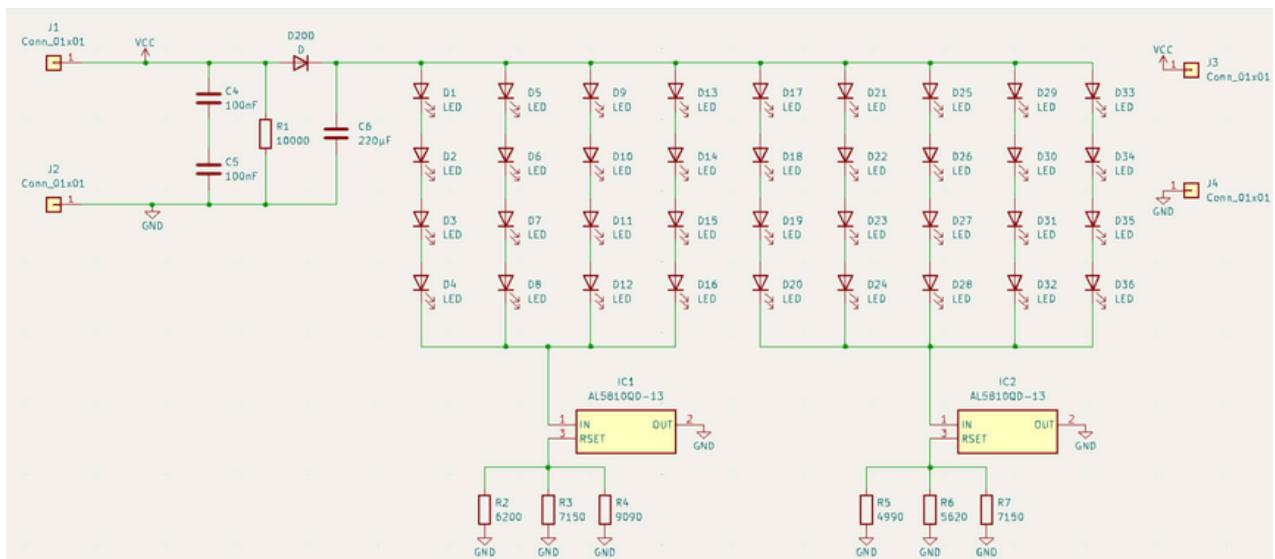
Voici les résistances les plus proches disponibles sur le marché et certifiées AEC-Q :

Brightness Group **BZ** : **30mA** par branche de LEDs : **4990 Ω** \rightarrow ERJP08F4991V

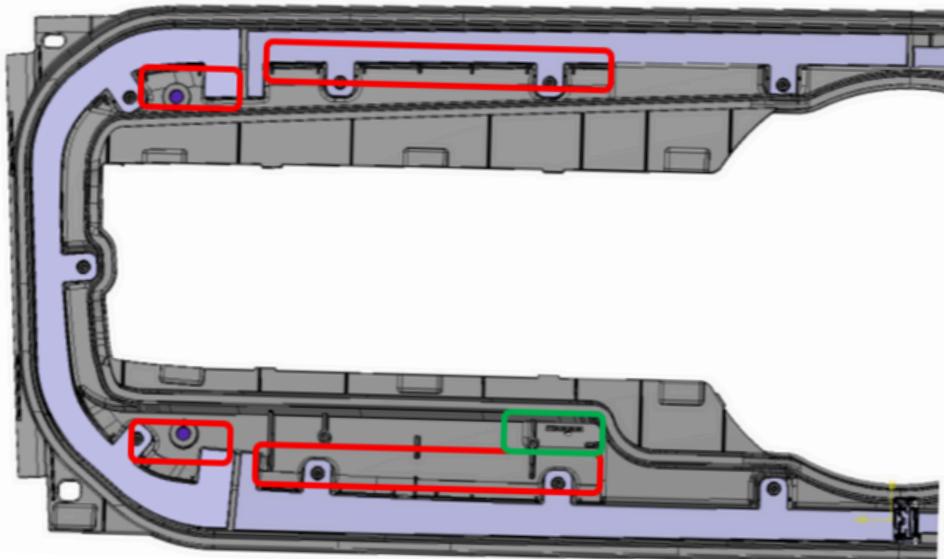
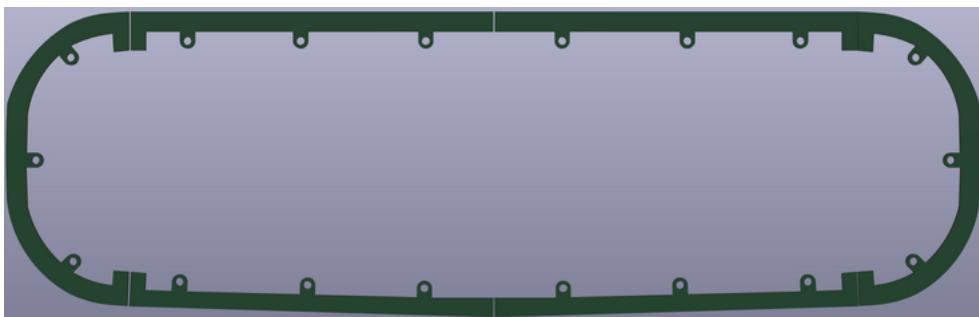
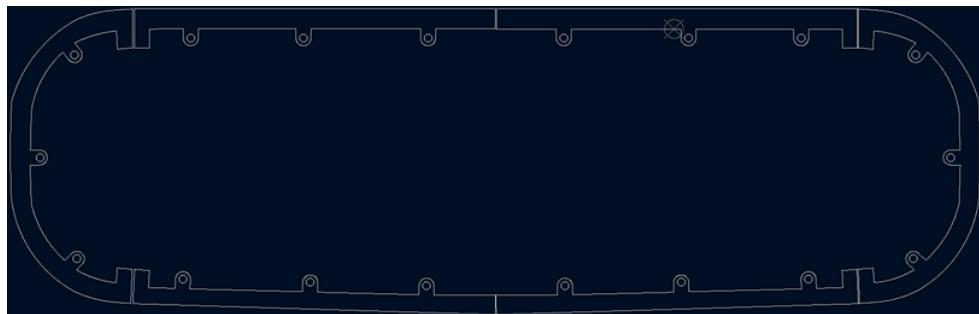
Brightness Group **CX** : **26mA** par branche de LEDs : **5620 Ω** \rightarrow CRCW06035K62FKEA

Brightness Group **CY** : **21mA** par branche de LEDs : **7150 Ω** \rightarrow CRCW08057K15FKEA

Voici le résultat sur le schéma :



Voici le PCB avec la modification apportée (largeur du PCB à 20 mm) :



3.3. Conclusion

En conclusion, la dernière étape de ce projet prototype consiste à finaliser le PCB en ajustant le schéma pour chaque PCB. Ce projet a été extrêmement enrichissant et m'a permis de comprendre la complexité et les défis associés à la réalisation d'un projet concret. J'ai acquis une meilleure compréhension des contraintes imposées par le client, telles que le respect du cahier des charges, les délais imposés, ainsi que les divers échanges entre le bureau d'étude, le client et moi-même.

De plus, ce projet m'a offert l'opportunité de développer mes compétences en conception sur un nouveau logiciel (KiCAD). Ce projet a représenté un véritable défi, car j'ai souvent été confronté à des problèmes nécessitant des solutions, tout en respectant une gestion du temps. Il a également été un travail d'équipe, en collaborant avec le bureau d'étude qui n'avait pas le même domaine d'expertise que moi, ce qui m'a permis d'apprendre des choses dans un domaine que je ne connaissais pas.

En somme, ce projet a été une étape importante dans mon développement professionnel, ajoutant une expérience supplémentaire à mon parcours dans ce domaine.

4. Compétences liées au stage

4.1. Concevoir

Durant mon stage, j'ai développé la compétence concevoir en réalisant un projet prototype : un ensemble de cartes électroniques destinées à fournir un éclairage pour la calandre d'un véhicule. Pour mener à bien ce projet, j'ai suivi une démarche précise, impliquant plusieurs étapes essentielles :

J'ai d'abord étudié en détail le cahier des charges du client afin de bien comprendre les besoins et les exigences du projet. Ensuite, j'ai exploré différentes idées de conception, en tenant compte des contraintes spécifiques.

J'ai choisi des composants précis et consulté les datasheets pour garantir leur compatibilité et leurs performances avec les spécifications du projet.

Ensuite, j'ai réalisé plusieurs schémas électroniques, ainsi que la conception de plusieurs PCB en cherchant à optimiser au maximum le routage.

4.2. Vérifier

Lors de mon stage, j'ai développé ma compétence vérifier à travers différents projets. J'ai utilisé des logiciels de simulation tels que LTSpice pour simuler les cartes électroniques, afin de vérifier leur fonctionnement en consultant les datasheets des différents composants pour assurer la cohérence entre les mesures et les tests réalisés par le logiciel de simulation ainsi que les données des datasheets.

En laboratoire, j'ai testé le fonctionnement lumineux et leur dissipation thermique avec une caméra thermique sur différentes cartes électroniques afin d'identifier la source de chaleur la plus importante pour certains projets. J'ai également effectué des vérifications par calculs pour valider les performances électriques des cartes.

4.3. Implanter

À la suite de mon stage, j'aurais pu développer ma compétence implanter, car la suite du projet Mercedes consistait à rendre les LEDs de la calandre dynamiques. Cela impliquait l'utilisation de microcontrôleurs et la mise en place d'un logiciel ou de programmation pour piloter les LEDs, afin de créer des animations telles que lorsque la voiture est en mode "parking", en mode charge, ou encore lorsqu'elle démarre.

4.4. Maintenir

Personnellement, je n'ai pas eu l'opportunité de développer la compétence maintenir lors de mon stage, mais elle aurait pu être développée au sein du pôle production. En effet, ce pôle dispose de plusieurs machines utilisées pour la fabrication de certains produits, ce qui implique des interventions de maintenance préventive ou corrective pour assurer leur bon fonctionnement.

5. Conclusion générale

En conclusion, ce stage a été une expérience extrêmement enrichissante pour moi. Plonger dans le domaine de l'éclairage, notamment dans le secteur automobile, m'a ouvert de nouveaux horizons. J'ai eu l'opportunité d'acquérir des connaissances approfondies et de participer à un projet concret, au cours duquel j'ai été confronté à certaines difficultés et problèmes pour lesquels j'ai dû trouver des solutions adaptées.

L'un des défis les plus significatifs que j'ai rencontrés durant ce stage a été la recherche d'améliorations pour les produits existants. En tant que stagiaire, proposer des solutions d'amélioration pour des cartes électroniques conçues par des entreprises spécialisées, avec bien plus d'expérience que moi, a représenté un véritable défi. Cela m'a poussé à examiner minutieusement chaque aspect des produits, à détecter les moindres défauts et à proposer des solutions innovantes auxquelles les concepteurs n'avaient peut-être pas pensé auparavant. Cette expérience m'a permis de développer une perspective critique et créative sur les produits et leur conception.

Par ailleurs, l'utilisation de nouveaux logiciels m'a également permis d'élargir mes compétences et ma maîtrise dans ce domaine, renforçant ainsi mes capacités professionnelles.

Durant mon stage, la communication a joué un rôle crucial, notamment dans le cadre du projet Mercedes. J'ai dû maintenir un échange constant d'informations et de modifications avec le bureau d'études et le client pour faire avancer le projet de manière efficace. Cette expérience m'a permis de développer mes compétences en communication et ma capacité à travailler en équipe dans un environnement professionnel.

En outre, les nombreuses réunions avec l'équipe de Luxor Lighting et d'autres entreprises m'ont offert l'opportunité d'approfondir mes connaissances de l'entreprise, de comprendre son fonctionnement économique et les stratégies employées. Ces interactions m'ont permis de mieux appréhender le monde professionnel et d'acquérir une compréhension plus approfondie du fonctionnement de l'industrie.

En somme, ce stage a été bien plus qu'une simple expérience professionnelle ; il a été une étape essentielle dans mon développement personnel et professionnel. Il m'a permis de développer mes compétences techniques, ma capacité d'analyse et ma créativité, tout en me fournissant une perspective précieuse sur le fonctionnement de l'industrie et les défis qui l'accompagnent. Je suis reconnaissant pour cette opportunité qui m'a permis d'explorer de nouveaux horizons et de contribuer à un domaine aussi passionnant.